

**Maps of Structure of Scientific Knowledge, the Didactic Transposition Theory of Chevallard, Izquierdo and de Mello (CHIM) and the Theory of Scientific Knowledge.**



Autor ~ Prof. Dr. Luiz Adolfo de Mello

**UFS - Universidade Federal de Sergipe**

**Maps of Structure of Scientific Knowledge, the Didactic Transposition Theory of Chevallard, Izquierdo and de Mello (CHIM) and the Theory of Scientific Knowledge.**

*Mapa Da Estrutura do Conhecimento Científico, a Teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (CHIM) e a Teoria do Conhecimento Científico.*

Prof. Dr. Luiz Adolfo de Mello

*Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – UFS; [ladmello@uol.com.br](mailto:ladmello@uol.com.br)*

### Breve Resumo da Biografia do Autor

Nascido em São Paulo capital. De família paterna originária do estado do Rio de Janeiro e materna de Curvelo-MG. Sobrinho por parte de pai de Janice Montemor, ex-diretora da Biblioteca Nacional e da escritora Dulcinha Monte-Mor. Primo do Maestro Eduardo Ostergren, UNICAMP.

Prof. Adjunto do departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe.

Bacharel em Física pelo IFUSP.

Mestrado em Física Teórica pelo IFUSP.

Doutorado em Física do Estado Sólido pelo IFUSP.

Membro e professor dos programas de pós-graduação MNPEF e NPGCIMA.

Chefe de grupo de pesquisa CAPES.

Linha de pesquisas. Ensino de Física com especialização em:

Mapas conceituais, transposição didática, paradigma científico, atividade científica escolar, análise do livro didático. TIC's e Computador no Ensino.

Prof. Dr. Luiz Adolfo de Mello

### Agradecimentos

Agradecemos à SBFísica pelo empenho e administração do mestrado nacional profissional em ensino de física (MNPEF), pois, esse trabalho é resultado da preparação de aulas para o curso de Mecânica Quântica para esse programa de mestrado. Agradecemos a CAPES pelo financiamento do MNPEF e indiretamente a este trabalho.

**São Cristóvão – SE**

## CARTA AO LEITOR

Este livro é o resultado de três anos consecutivos que ministrei a disciplina de Mecânica Quântica no programa de mestrado profissionalizante para o ensino de Física (MNPEF). Esse projeto começou quando alguns estudantes deste curso resolveram traduzir o artigo original de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico e da radiação de corpo negro de Max Planck. Como eles estavam encontrando muita dificuldade em tal tarefa resolvi investigar os artigos. Ao fazer isto percebi que estes possuíam muito mais conteúdo da filosofia da ciência do que podíamos imaginar. Como estávamos usando mapas de conceitos para se fazer a revisão do conteúdo da física denominada de Física Moderna, surgiu naturalmente a ideia de se fazer um estudo mais aprofundado destes conteúdos, sob o ponto de vista da transposição didática, ou seja, de como o conhecimento científico é transcrito para cada nível de escolaridade.

Esses estudos redundaram na generalização da teoria da transposição didática de Ives Chevallard, da ferramenta conceitual mapas conceituais e na formulação da “teoria do conhecimento científico”. Assim, como desejo que esse livro seja difundido internacionalmente e ao mesmo tempo seja usado pelos nossos estudantes do programa MNPEF, resolvi fazê-lo na forma bilíngue. Isto é, na versão na língua portuguesa como na língua inglesa. Assim, nas primeiras 76 páginas comterão o texto em português e no restante a versão na língua inglesa. Por motivos óbvios colocaremos uma única bibliografia no final do livro.

## LETTER TO THE READER

This book is the product of three consecutive years ministering the discipline of Quantum Mechanics in the National Program of Professional Masters in Teaching Physics (MNPEF). This project began when some students from this discipline decided to translate the famous Albert Einstein's second paper on photoelectric effect and Max Planck's blackbody radiation article. As they were having very difficult in such a task I decided to investigate the articles. In doing so I realized that they possessed much more content of the philosophy of science than we could imagine. How we were using concept maps to revise the content of physics called Modern Physics, the idea arose of a more in-depth study of these contents, from the point of view of didactic transposition, that is, how knowledge is transcribed for each level of schooling.

These studies led to the generalization of Ives Chevallard's theory of didactic transposition, the generalization of conceptual tool named "conceptual maps" and the formulation of the "theory of scientific knowledge". So, since I want this book to be widespread internationally and at the same time be used by our students in the MNPEF program, I decided to do it bilingual. That is, in the Portuguese version as in English language. Thus, in the first 76 pages, the text will be in Portuguese and the rest in English. For obvious reasons we will put a single bibliography at the end of the book.

## PRÓLOGO

Apresenta-se aqui a versão mais atual da teoria da transposição didática que engloba (sintetiza) a teoria de Chevallard (1991), a teoria cognitiva da ciência e modelos mentais de Jhonson-Laird (1987 e 1995). Faz-se uma breve revisão da teoria de Chevallard e se expõe a generalização dessa teoria por De Mello segundo os trabalhos de Izquierdo-Aymerich (2003). Isto é, propõe-se aqui uma teoria para se estudar a maneira como os modelos científicos originais são transpostos aos modelos didáticos. Isto é, para analisar como o conhecimento produzido nas ‘esferas acadêmicas’ se modificam se adaptam se simplificam e se consolidam como saberes a serem ensinados em sala de aula. Complementando os trabalhos de Chevallard (1982 e 1991), Brockington (2005) e outros se propõem regras que definam como uma DT deva ocorrer ou ser realizada. Finalmente se sugere algumas diretrizes de como a DT deva ser efetuada. Em seguida apresentamos a Teoria do Conhecimento científico (SKT) junto com uma de suas possíveis metodologias de pesquisa. Isto é, junto com mapas conceituais generalizados como uma linguagem algorítmica e denominado aqui de mapas das estruturas do conhecimento científico (MECC). A generalização da ferramenta de pesquisa Mapa Conceitual. Tem se que no momento que um dado autor produz um determinado texto ou hipertexto, seja esse um texto didático, um artigo, uma reportagem ou texto científico esse “materializa” na forma escrita, subentendido na sua forma mais geral, em um conjunto de ideias, hipóteses, modelos explicativos, uma teoria e/ou fatos experimentais. Nesse momento temos a ocorrência de um “fato pedagógico”. Propõe-se aqui que uma teoria da Transposição do Conhecimento ou da Transposição Didática, munida de uma metodologia de pesquisa e baseada em fatos pedagógicos se constitui em um ramo das ciências sociais. Que essa nova teoria, a “Teoria do Conhecimento”, pode ser facilmente generalizada às outras formas de conhecimento.

## PROLOGUE

We present here the most current version of the theory of didactic transposition (DT) that encompasses (synthesizes) the theory of Chevallard (1991), the cognitive theory of science and mental models of Jhonson-Laird (1987 and 1995). A brief review of Chevallard's theory is presented and the generalization of this theory is presented by De Mello according to the works of Izquierdo-Aymerich (2003). That is, a theory is proposed here to study the way the original scientific models are transposed to didactic models. That is, to analyze how the knowledge produced in the 'academic spheres' changes adapt and simplify and consolidate themselves as knowledge to be taught in the classroom. Complementing the works of Chevallard (1982 and 1991), Brockington (2005) and others we propose here rules that define how a DT should occur or be performed. Finally, we suggest some guidelines on how DT should be performed. Next, we present the Scientific Knowledge Theory (SKT) along with one of its possible research methodologies. That is, along with generalized conceptual maps as an algorithmic language and here termed maps of the structures of scientific knowledge (MECC). The generalization of the research tool named Conceptual Mapping. It is known that in the moment that a given author produces a certain text or hypertext, be it a didactic text, an article, a report or a scientific text that "materializes" in the written form, implied in its more general form, in a set of ideas, hypotheses, explanatory models, a theory and/or experimental facts. At that moment we have the occurrence of a "pedagogical fact". It is proposed here that a theory of the Transposition of Scientific Knowledge or Didactic Transposition, equipped with a research methodology and based on pedagogical facts, constitutes a branch of the social sciences. That this new theory, named "Theory of Knowledge," can easily be generalized to other forms of knowledge.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
Capítulo 1 - Fatos Pedagógicos e Suas Metodologias de Pesquisa	12
Capítulo 2 – Modelos Mentais e Modelos e Paradigmas Científicos	13
2.1 - Modelos Mentais	13
2.2 - Um Modelo Cognitivo Da Ciência	14
2.3 - Paradigma Científico	15
Capítulo 3 - A Teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (DT-CHIM).	17
3.1 – A Teoria da Transposição Didática	17
3.2 - Teoria da Transposição Didática e o Modelo Cognitivo da Ciência	19
Capítulo 4 - Mapas Conceituais e Mapeamento de Conceitos.	22
4.1 – Conceitos Preliminares	23
4.2 – Mapas Conceituais	24
4.3 – Mapas das Estruturas do Conhecimento Científico	27
4.4 - Mapas De Estruturas Do Conhecimento Científico, Transposição Didática E Modelos Cognitivos Da Ciência.	29
4.5 - Mapas De Estruturas Do Conhecimento Científico e a Análise do Livro Didático	30
4.5.1 - Nível Universitário	30
4.5.2 – Ensino Médio.	37
4.6 - Regras para Elaboração dos MECC como uma Linguagem Algorítmica.	42
4.7 - Mapas das Estruturas do Conhecimento, Transposição Didática DT-CHIM dos Modelos Científicos.	43
4.7.1 - A Teoria da Quantização de Max Planck	44
4.7.1.1 - FÍSICA QUÂNTICA – EISBERG (1985)	44
4.7.1.2 - Texto do livro Jewett & Sears (2010)	45
4.7.1.3 - Max Planck (1901) Original Paper	47
4.7.1.4 - Princípios de Física (vol.4) - Serway & Jewett (2005)	50
4.7.1.5 - “Física IV” dos autores Young & Freedman (2009)	51
4.7.1.6 - “Physics Principles and Problems” do Programa Glencoe (2005)	52
5 – A Teoria Do Conhecimento Científico.	53
5.1 - Artigo de Albert Einstein (1905a) - On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light.	54



5.2 – Física Quântica – Eisberg e Resnick (1985)	56
5.3 – Livros Escritos para o Ciclo Básico	59
5.3.1 - Princípios de Física dos autores Serway & Jewett (Serway & Jewett, 2006).	59
5.3.2 – Física IV; ‘Óptica e Física Moderna’ dos autores Young & Freedman (2008).	60
5.4 – Livro Escrito para o ensino Médio - Physics Principles and Problems – Glencoe Program (2005).	61
6 - Resultados e Conclusões	63
7 - Referências Bibliográficas.	128

## SUMMARY

INTRODUCTION	70
Chapter 1 - Pedagogical Facts and their Research Methodologies	73
Chapter 2 - Mental Models and Scientific Models and Paradigms	73
2.1 - Mental Models	73
2.2 - A Cognitive Model of Science	75
2.3 - Scientific Paradigm	76
Chapter 3 - Chevallard Theory of Transposition Didactics, Izquierdo and de Mello (DT-CHIM).	77
3.1 - The Theory of Didactic Transposition	77
3.2 - Theory of the Didactic Transposition and the Cognitive Model of Science	80
Chapter 4 - Conceptual Maps and Mapping Concepts.	82
4.1 - Preliminary Concepts	82
4.2 – Concept Maps	84
4.3 – Concept Maps and Physical Laws - Maps of Structures of Scientific Knowledge	87
4.4 - Conceptual Maps, Didactic Transposition and Cognitive Models of Science.	88
4.5 - Maps of Structures of Scientific Knowledge and the Didactic Book Analysis	89
4.5.1 - University Level	90
4.5.2 – High School - Physics Principles and Problems – Glencoe Science (2005)	96
4.6 - Rules for the Establishment of the MSSK as an Algorithmic Language.	103
4.7 - Mapas das Estruturas do Conhecimento, Transposição Didática DT-CHIM dos Modelos Científicos.	104
4.7.1 - A Teoria da Quantização de Max Planck	105
4.7.1.1 - FÍSICA QUÂNTICA – EISBERG (1985)	105
4.7.1.2 - Texto do livro Jewett & Sears (2010)	106
4.7.1.3 - Max Planck (1901) Original Paper	109
4.7.1.4 - Princípios de Física (vol.4) - Serway & Jewett (2005)	111
4.7.1.5 - “Física IV” dos autores Young & Freedman (2009)	111
4.7.1.6 - “Physics Principles and Problems” Glencoe Program (2005)	113
5 – Theory of Scientific Knowledge.	114

5.1 - Albert Einstein Original Paper (1905a) - On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light.	115
5.2 – Quantum Physics – Eisberg e Resnick (1985)	117
5.3 - Books Written to the Basic Cycle	119
5.3.1 - The Physical Principles of De Authors Serway & Jewett (Serway & Jewett, 2006).	119
5.3.2 - Physics IV; 'Optics and Modern Physics' by Young & Freedman (2008).	121
5.4 - Written Book for High School - Physics Principles and Problems - Glencoe Program (2005).	122
Chapter 6 - Results and Conclusions	124
Chapter 7 – REFERENCES	128

## INTRODUÇÃO

Antes da década de 50 não havia grande preocupação com a produção apropriada de livros textos. Até esta época o ensino era propedêutico, baseado principalmente na memorização de formulas e textos, de modo que os textos refletiam essa ideologia. Por outro lado não havia uma distinção muito clara entre as carreiras universitárias, de modo que havia muito poucos textos ou nenhum para a formação de carreiras específicas.

Após a II grande guerra o EUA sentiu a necessidade de produzir um grande programa de ensino voltado para a formação de cientistas em geral. Em 1956 um grupo de professores universitários, de professores de física em nível secundário (high school) e do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), liderados por Jerrold Zacharias e Francis Friedman, formou o Physical Science Study Committee (PSSC) para pensar e propor maneiras de reformular o ensino de Física em cursos introdutórios (PSSC, 1971, 2014). Aqueles educadores e cientistas decidiram que livros textos adequados poderiam estimular, pelo menos em parte, o interesse dos estudantes pelo assunto e levá-los a pensar como cientistas.

Apesar do excelente material produzido, essa primeira tentativa foi mal sucedida justamente por seu objetivo estar centrado na formação de cientistas. Mas, esse projeto inspirou a criação de vários projetos mundo afora (Harvard, Nuffield, PEF). Um dos principais projetos de ensino inspirado no PSSC é o projeto Harvard ou Project Physics Course (Harvard, 2006). O projeto Harvard está baseado em uma abordagem humanística de se fazer ciência e é neste projeto que lançaram a proposta pedagógica da abordagem conectiva. O material pedagógico e, portanto, os seus livros textos foram escritos para formar cidadãos em geral e não somente cientistas.

Atualmente com o crescente volume de informações que os estudantes devem adquirir para se formar criou-se a especialização das carreiras universitárias. E com elas houve a criação de vários projetos pedagógicos por parte das universidades em geral. Como exemplo, temos textos de física para formar cientistas (Halliday, 1997; Allonso, 1968) e outros para formar engenheiros em geral (Young, 2008; Serwey, 2006).

Essa multiplicação de carreiras universitárias e a sua universalização propiciaram a explosão do Mercado Editorial, tanto em nível universitário como no ensino médio. A fusão das engenharias com as ciências agrárias, ambiental, de alimentos e outras criou a necessidade de se produzir uma grande variedade de livros textos especializados. Isto criou espaço (oportunidade) para o surgimento de várias propostas pedagógicas para o ensino de ciências. Em particular temos livros de Física destinados à formação de cientistas, engenheiros e para ciências biológicas.

Esses livros e e-livros são compostos de textos produzidos segundo uma metodologia de ensino, com finalidades bem específicas e de acordo com o conhecimento matemático prévio de cada estudante. Assim, esses são a materialização de uma transposição didática (De Mello, 2016a; Chevallard, 1982) do conhecimento científico e denominado daqui por diante de “Fato Pedagógico” (um objeto material).

Usaremos o termo fato pedagógico mesmo que um conhecimento seja elaborado na forma de um hipertexto ou na forma de uma figura, gráfico, tabela ou página na internet<sup>1</sup>.

A teoria que estuda como ocorre esse fato pedagógico é denominada de Transposição Didática (DT) (Chevallard, 1982; De Mello, 2016d). Isto é, DT é a teoria que estuda como o conhecimento produzido nas esferas de pesquisa se transforma e se consolida em saberes a serem ensinados tanto no ensino superior como no ciclo básico. Isto é, usaremos como referencial teórico a teoria da DT generalizada de Chevallard, Izquierdo e De Mello denominada de DT-CHIM (De Mello, 2016d).

Contribuições recentes da epistemologia da ciência para o ensino de Ciências originou uma nova abordagem (teoria) desta última denominada de “modelo cognitivo da ciência” que se origina da filosofia kuhniana da ciência. Junto com outra contribuição recente às teorias para o ensino de ciências, a teoria da “transposição didática”, que vem da nova educação científica (Chevallard, 1985), sugerem a possibilidade de se analisar com muito mais profundidade como o conhecimento produzido nas esferas científicas são transpostos às esferas escolares (Izquierdo, 2003).

Atualmente com o crescente volume de informações que os estudantes devem adquirir para se formar criou-se a especialização das carreiras universitárias. E com elas houve a criação de vários projetos pedagógicos por parte das universidades em geral. Como exemplo, temos textos de física para formar cientistas (Halliday, 1997; Allonso, 1968) e outros para formar engenheiros em geral (Sears, 2006; Serway, 2006). Mostramos em artigo anterior (Mello, 2015) que de certa forma estas características estão de alguma forma inseridos no material produzido por eles. Mostramos, também, que CM são para os conceitos da ciência o que a linguagem algorítmica é para a programação, permitindo verificar e avaliar a construção epistemológica do livro texto, determinando os objetivos epistemológicos destes.

Mas, para se criar um projeto pedagógico para se formar cientistas precisamos ter bem claro a idéia do que é fazer ciência em geral. Assim, vários autores tem debatido o problema de se definir o que é fazer ciências (Nersessian, 1992). Vejamos algumas definições do que é ciência.

O Merriam-Webster Online Dictionary define: A **Ciência** (do latim *scientia*, traduzido por “conhecimento”) refere-se a qualquer conhecimento ou prática sistemáticos. Em sentido estrito, ciência refere-se ao sistema de adquirir conhecimento baseado no método científico bem como ao corpo organizado de conhecimento conseguido através de tais pesquisas (Merriam, 2017).

Corpo de conhecimentos sistematizados adquiridos via observação, identificação, pesquisa e explicação de determinadas categorias de fenômenos e fatos, e formulados metódica e racionalmente. A ciência, em geral, comporta vários conjuntos de saberes nos quais são elaboradas as suas teorias baseadas nos seus próprios métodos científicos.

---

<sup>1</sup> Daqui em diante qualquer materialização do conhecimento será denominada de acontecimento ou fato pedagógico.

Surge então a questão: como esse conjunto de conhecimento são coletados, classificados, sintetizados e depois comunicados. Alguns autores como Guimarães (2009) afirmam que fazer ciência no campo científico não é ateuórico. Dentro do vasto universo de eventos que ocorrem na natureza o cientista deve ter em mente qual subconjunto destes seria relevante à sua pesquisa. Na linguagem da teoria cognitiva da ciência (Nersessian, 1992; Jhonson-Laird, 1980) o cientista já possui um modelo mental do sistema de eventos que deseja investigar.

A ciência é um modo de pensar e agir, a fim de interpretar certos fenômenos e intervir através de uma série de conhecimentos teóricos e práticos estruturados. Como resultado do ensino de ciências, os alunos devem entender que o mundo natural apresenta certas características que podem ser modeladas teoricamente. Devido a isso apresentamos a eles alguns fatos reconstruídos, modelos teóricos, argumentações e proposições que foram selecionados previamente. Os professores são profissionais comprometidos com o ensino da ciência atual como esta fosse a verdade. Obviamente, isso não é "fazer ciência", mas "ensinar a ciência", e a justificativa para este comportamento deve ser encontrada na didática da ciência e não apenas na ciência. Cientistas propõem teorias e métodos para alcançar seus próprios objetivos explicativos, mas isso não é inteiramente possível para os alunos na escola.

Além disso, se o trabalho na aula de ciências é realizada de acordo com os princípios de uma transposição didática bem executada (Chevallard, 1991), os professores também estão profissionalmente comprometidos para conectar modelos científicos aos usados pelos próprios alunos, recorrendo a analogias e metáforas que melhor ajudá-los a se mover a partir do último para o primeiro (Duit, 1991; Flick, 1991; Ingham, 1991; Clement, 1993). Ao longo dos anos de escola, isso deve resultar em um processo de seleção de questões relevantes sugeridos por experiências e os contextos em que estas questões fazem sentido para os alunos. Embora nem todas as perguntas sejam respondidas em sala de aula, elas podem ser discutidas lá: alguns delas têm uma reflexão filosófica, histórica ou social; algumas expõe problemas sociais, jurídicos ou éticos; outros se referem a crenças não-científicas que podem ser compatíveis com a ciência, porque eles vão além dos problemas abordados em ciência. Talvez os professores devem dar prioridade a essas características de modelos teóricos que estão presentes em todas as disciplinas e assuntos escolares.

Aprender ciência na escola não pode inteiramente ser comparada a resolver novos problemas com uma base científica forte (a analogia do "aluno como um cientista"). Mas, ao mesmo tempo, estamos convencidos de que podemos chegar a diferentes etapas na aquisição de conhecimento científico; não deve haver grandes descontinuidades no processo. Se a principal característica da ciência é o pensamento teórico que permite a interpretação do mundo, este é o que a ciência dos cientistas e a ciência escola deve ter em comum. Este elemento cognitivo fundamentalmente permite a ligação entre as duas ciências.

De Mello (2016b e 2016c) demonstrou que a melhor forma e mais eficiente de se fazer a análise de como o conhecimento científico produzido nas esferas de pesquisa é transposto aos livros textos, se consolidando como um fato pedagógico é através do

uso de mapas conceituais em uma concepção generalizada e como esse fosse uma linguagem algorítmica que denomina-se de mapas das estruturas do conhecimento científico (MECC). Usando essa ferramenta de estudo (a MECC) De Mello (2016e) criou uma metodologia de pesquisa para a DT.

O objetivo central desta tese é demonstrar que a teoria da DT-CHIM junto com os seus fatos pedagógicos e munida com a metodologia de pesquisa baseada em MECC constitui uma ciência social. Usaremos como exemplo de aplicação a Teoria da Quantização de Max Planck.

Apesar do conteúdo de FM estar inserido em grande parte dos livros textos moderno voltado para o ensino médio, ainda se discute a questão de se ministrá-lo efetivamente. Um dos argumentos a favor dessa introdução está no fato de que a grande maioria dos nossos estudantes escolherão carreiras universitárias em que esse tópico da Física não é abordado. Portanto, esta seria a ultima oportunidade que estes teriam de ter um contato formal com esse tópico. Por outro lado, os que são contrários a essa ideia justificam suas opiniões no fato de termos poucas horas aula de Física e que, devido a esse fato, mal se consegue ministrar os conteúdos tradicionais.

Outro empecilho apontado por muitos à realização desse objetivo é o fato de a Física moderna ser toda fundamentada em uma matemática sofisticada e que em geral não pode ser transcrita em termos dos conhecimentos de matemática de um estudante do segundo grau. Outra objeção é que muitos princípios em que está fundamentada a Mecânica Quântica, como o da Incerteza e o da Complementaridade, são muito abstratos e não intuitivos até para um estudante universitário.

Deste modo seria muito interessante se tivéssemos um meio de avaliarmos como os autores de livros didáticos estão transpondo o conhecimento produzido na esfera científica para a esfera do ensino médio. Assim, vamos a seguir usar a ferramenta conceitual de Mapas Conceituais para avaliarmos como os autores de livros didáticos de física para o ensino médio estão fazendo a transposição didática do tópico de Física Moderna.

## Capítulo 1 - Fatos Pedagógicos e suas Metodologias de Pesquisa

Com o surgimento da World Wide Web, com a democratização e universalização do ensino e da informação o conhecimento passou ser parte integrante e fundamental da sociedade atual – a sociedade da informação (Masuda, 1980; Burch, 2006). O conhecimento deixou de ser um acessório do processo produtivo e mercadológico e passou ser parte central e determinante das estruturas e regras que regem estes (Grant, 1996; Ernst, 2002). Do mesmo modo, várias teorias e metodologias foram criadas, desenvolvidas e adaptadas para atender as necessidades e o desenvolvimento dos meios de comunicação e da cibernética.

Dentro desta metodologia, denominada de data mining, temos vários softwares ou aplicativos desenvolvidos com a finalidade de obter informações e administrar o mercado. Dentre estes os softwares Oracle, SAP e outros (Chen, 2012). Basicamente estes usam recursos da teoria estatística junto com a metodologia da pesquisa operacional para se realizar o tratamento de dados.

A partir destas pesquisas são elaboradas estratégias de mercado, campanhas publicitárias, portfólio de empresas, alteração de produtos, etc. Apesar da motivação por detrás destas pesquisas (segundo Adam Smith (1937)) ser a ganância do empresário, o conhecimento produzido por estas pesquisas (metodologia científica) é elaborada de forma inteligível e cientificamente. Por isso podemos denominá-la de fato pedagógico. Mesmo o design de um home Page é feita segundo certas regras lógicas baseada em conhecimento científicos oriundos da psicologia e da estatística.

Devido ao impacto da multimídia, principalmente pela apresentação visual, fez com que as empresas editoriais investissem na pesquisa do impacto das artes gráficas sobre a leitura e compreensão de textos (Carney, 2002 and Schnotz, 2008). Demonstrou-se que figuras completamente integrada ao texto contribuem significativamente na leitura e compreensão de textos científicos e em geral (Clark, 2010). Como esse conhecimento redunda na produção de determinados tipo de livros podemos denominá-lo de fato pedagógico.

Usando mapeamento conceitual como metodologia de pesquisa, no que segue nos restringiremos ao estudo de como o conhecimento científico é transposto aos livros textos, e como este se torna um fato pedagógico, isto é, um texto didático (um objeto material).



## Capítulo 2 – Modelos Mentais, Modelos Científicos e Paradigmas Científicos

### 2.1 - Modelos Mentais

Mas, o que seria esses modelos usados pelos alunos? Sem entrar em detalhes nas diversas formas ou tipos de raciocínios, temos que Johnson-Laird (1983, p 163) defende que as pessoas raciocinam através de modelos mentais. Modelos mentais, analogicamente a modelos da arquitetura, são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaos conforme necessário. Como quaisquer outros modelos eles representam acuradamente ou não o objeto ou situação em si. Uma de suas características mais importantes é que sua estrutura se assemelha (analogicamente) a essa situação ou objeto (Hampson e Morris, 1996; apud Moreira, 1996).

Modelos analógicos são muitas vezes utilizados para se fazer pesquisa, criar, testar e comunicar ideias (Bent, 1984; Black, 1962; apud Harrison, 2000). A analogia é uma forma eficaz de explicar ideias novas desde que o explicador e o ouvinte entendam a analogia da mesma forma. A analogia é chamada de objeto familiar, experiência ou processo (Gentner, 2001). Explicações analógicas funcionam quando o explicador e o ouvinte concordam com os mapeamentos analógicos que existem entre o analógico (conhecimento prévio) e o alvo (o conhecimento científico) e mapeamentos são ditos ser compartilhados quando ambas as partes concordam que o analógico é semelhante ao alvo desta ou daquela maneira.

*Em outras palavras, modelo mental é uma representação interna de informações que corresponde, analogamente, ao estado de coisas que estiver sendo representado, seja qual for ele. Modelos mentais são análogos estruturais do mundo (Moreira, 1996).*

Como exemplo se tem o modelo atômico. Dependendo do nível de escolaridade ao perguntarmos o que seria o modelo atômico teríamos uma resposta diferente. O modelo de Thompson, o de Bohr ou da Mecânica Quântica. Assim, não existe um único modelo mental para um determinado estado de coisas. Ao contrário, podem existir vários modelos, mesmo que apenas um deles represente de maneira ótima esse estado de coisas. Cada modelo mental é uma representação analógica desse estado de coisas e, reciprocamente, cada representação analógica corresponde a um modelo mental (Moreira, 1996).

Mas, há uma diferença básica entre modelos conceituais e modelos mentais. Os modelos físicos são modelos conceituais, isto é, modelos construídos por pesquisadores para poderem elaborar suas teorias e que acabam por facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos (Norman, 1983). São representações precisas, consistentes e completas de fenômenos físicos segundo determinada teoria (Moreira, 2002). Porém, os modelos dos alunos, ou de qualquer indivíduo, inclusive os que criam modelos conceituais, são modelos mentais, ou seja, modelos que as pessoas constroem para representar estados de coisas físicas (bem como estados de coisas abstratas) através de suas experiências ordinárias. (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996; Moreira, 2002).

Nesse artigo vamos investigar como o conhecimento científico produzido dentro de um contexto histórico e epistemológico de uma revolução científica, no sentido de Khun (1970), é transcrito, ou no linguajar deste artigo, sofre uma DT para os livros textos em geral. O ponto central deste artigo é analisar, através de MC, como os modelos (científicos) explicativos vão se transformando à medida que são transcritos para cada época ou paradigma e para cada nível de compreensão.

Mas, a concepção atual do que seja uma teoria científica ou conhecimento científico está muito avançada. Assim, se faz necessário uma pequena revisão dos parâmetros teóricos que usaremos aqui para fazer este estudo. Em particular usaremos o referencial teórico da Teoria Cognitiva da Ciência (SKT).

## **2.2 - Um Modelo Cognitivo da Ciência**

Do ponto de vista atual sobre a epistemologia da ciência, o objetivo das teorias científicas não é atingir a verdade, mas dar sentido ao mundo, de acordo com o objetivo final de uma transformação ativa da natureza (Hacking, 1983). As teorias são as entidades mais importantes na ciência; elas são construídas e modificadas a fim de interpretar o mundo (Duschl, 1990; apud Izquierdo-Aymerich, 2003). E o objetivo da teoria cognitiva da ciência (SKT) é compreender como os cientistas trabalham e se comunicam (especialmente por meio da escrita), focalizando seu estudo no aspecto semântico das teorias.

Com o intuito de ilustrar e parametrizar esta problemática vamos recorrer à história da ciência. Para Boltzmann toda teoria nada mais é do que uma imagem ou representação dos fenômenos naturais. Para ele (Boltzmann, 1890) uma imagem ou representação é uma construção mental ou subjetiva. Para ele uma representação é uma explicação do que ocorre na natureza. A tarefa ou objetivo de uma teoria deve ser da construção de uma imagem pura do mundo externo, sendo essa imagem existente no homem, daí ser essa imagem subjetiva e mental. Essa imagem deve ser a estrela guia (Leitstern) de nossos pensamentos e experiências. Segundo Boltzmann as teorias não possuem a capacidade de representar as ‘essências’ que constituem a natureza, ou ainda, a realidade física. O cientista não detém nenhum meio de distinguir completamente entre a imagem que ele elabora e a imagem do mundo externo.

Desde o momento que ele define Teoria como uma representação, ele se recusa a discutir o atomismo a partir de argumentos relacionados à existência, suficiente ou não, de dados empíricos capazes de confirmar a realidade dos átomos. Enquanto teoria esta é uma imagem. Assim, para avaliá-lo, é preciso que se centre a discussão sobre a sua capacidade de contribuir para o trabalho de construção de imagens do mundo externo, ou seja, de novas teorias (Videira, 2005 e 2006).

Por outro lado, Ernst Mach e Ostwald (filósofos da natureza e positivistas) se opunham a teoria cinética dos gases e a termodinâmica de Boltzmann afirmando que se a Física seria uma ciência baseada e fundamentada em fatos naturais, que significava as bolinhas imaginárias (átomos) criadas por alguns físicos para se construir as teorias atômicas. Apesar das diferenças epistemológicas existentes entre ambos, Mach e Ostwald procuraram introduzir nas Ciências Naturais fundamentalmente a mesma

concepção fenomenista. Para eles, as teorias físicas têm como objetivo descrever aquilo que é percebido pelos órgãos sensoriais humanos, organizando aquilo que é “colhido” por esses em um todo coerente e econômico. Nesse trabalho de organização, a faculdade intelectual humana é passiva. Tudo aquilo que é importante para uma boa realização da tarefa científica é fornecido pela observação (Videira, 2005 e 2006).

Para Mach a teoria teria realizado sua tarefa caso tenha conseguido descrever aquilo que é fornecido pela observação, sem que haja necessidade de serem introduzidos elementos fictícios ou hipotéticos. A primazia concedida aos fatos empíricos sobre a teoria que lhe descreve, faz com que um elemento teórico não seja nada mais do que uma cópia da experiência (Videira, 2005 e 2006).

Utiliza-se aqui uma concepção muito similar a de Boltzmann do que se entende por ciência e o que seja fazer ciência. De acordo com Carey (1992) e Nersessian (1992), os modelos são um tipo de representação mental. Hesse (1963) afirma que os modelos científicos permitem que uma teoria seja preditiva. A interpretação de um fato pode ser consequência desta estar relacionada a fatos semelhantes ou análogos que se encaixam em um modelo e que faz sentido para os cientistas. A linguagem proposicional que define uma teoria não é, então, usada para descrever o mundo, mas é a construção de um modelo mental do mesmo, que é um análogo estrutural da situação real (Harrison, 1998, 2000). Mas, este modelo é construído segundo regras rígidas e regido pelo paradigma científico vigente, como demonstrado em autor (2015b). Assim, o modelo inicial assim gerado irá se desenvolver a medida que explica outros fenômenos conhecidos ou novos.

As relações entre os modelos e os fatos são desenvolvidos através de postulados e hipóteses teóricas, que podem ser mais ou menos verdadeiras ou falsas, desde que possuam conteúdo empírico. Assim, a teoria contém necessariamente as suas aplicações, ou domínio, e pode ser compreendida em parte como o mundo interpretado (Giere, 1988; Suppe, 1989 apud Izquierdo, 2003).

### 2.3 - Paradigma Científico

Usa-se aqui uma versão da definição de paradigma científico criada por Thomas Khun (1970). Pois, não há uma única definição de paradigma, mesmo Kuhn sustenta que essa explicitação nunca possa ser completa. Assim, aqui o paradigma é um conceito utilizado para significar um conjunto de “realizações científicas concretas” capazes de fornecer *"modelos dos quais brotam as tradições coerentes e específicas da pesquisa científica"*. Mas, também, pode ser formulado como uma “concepção de mundo” que, pressupondo um “modo de ver” e de “praticar”, engloba um conjunto de teorias, instrumentos, conceitos e métodos de investigação, que comumente é denominado de ciência madura (Khun 1970).

O desenvolvimento da ciência madura ocorre assim em duas fases, a fase da ciência normal e a fase da ciência revolucionária. A ciência normal é a ciência dos períodos em que o paradigma é unanimemente aceito no seio da comunidade científica,

sem qualquer tipo de contestação. O paradigma indica à comunidade o que é interessante investigar, como levar a cabo essa investigação, como que impondo um sentido ao trabalho realizado pelos investigadores e limitando os aspectos considerados relevantes da investigação científica.

Os cientistas se limitam a resolver um conjunto de problemas que o paradigma lhe vai fornecendo, toda a investigação é realizada dentro e à luz do paradigma aceito pela comunidade. Nesta fase da ciência normal, o cientista não procura questionar ou investigar aspectos que extravasam o próprio paradigma, este limita-se a resolver dificuldades que vão permitindo mantê-lo em atividade e que possibilitam simultaneamente revelar a sua engenhosidade e a sua capacidade na resolução dos enigmas. *"Os problemas científicos transformam-se em puzzles, enigmas com um número limitado de peças que o cientista - qual jogador de xadrez - vai pacientemente movendo até encontrar a solução final. Aliás, a solução final, tal como no enigma, é conhecida antecipadamente, apenas se desconhecendo os pormenores do seu conteúdo e do processo para a atingir"*. Deste modo, o paradigma que o cientista adquiriu durante a sua formação profissional fornece-lhe as regras do jogo, descreve-lhe as peças a utilizar e indica-lhe o caminho ou objetivo a atingir (Chibene, 2015).

Ora, quando fatos experimentais contraditórios com o paradigma vigente vão se acumulando, ou seja, quando o quebra-cabeças fica sem solução, o que Kuhn denomina *anomalias*, e estas se multiplicam e resistem por longos períodos aos melhores esforços dos melhores cientistas, e incidem sobre áreas vitais da teoria paradigmática, membros mais ousados e criativos da comunidade científica propõem alternativas de paradigmas. Perdida a confiança no paradigma vigente, tais alternativas começam a ser levadas a sério por um número crescente de cientistas. Instala-se um período de discussões e divergências sobre os fundamentos da ciência. Mas, mesmo durante a crise o paradigma até então adotado não é abandonado enquanto não surgir um outro que se revele superior a ele em praticamente todos os aspectos.

O novo paradigma irá redefinir os problemas e as incongruências até então insolúveis, dando-lhes uma solução convincente, e é neste sentido que ele se vai impondo junto da comunidade científica. Estamos, pois, na presença de duas visões radicalmente diferentes do mundo, o que torna impossível uma solução de compromisso, na tentativa de tornar compatíveis os dois paradigmas.

Inicialmente o paradigma emergente será aplicado em várias áreas, e essa aplicabilidade será assumida sem ainda se ter feito qualquer tipo de prova nesse sentido. É para estas áreas que a ciência normal se vai orientar. Ou seja, uma disciplina se torna uma ciência quando adquire um *paradigma*, encerrando-se a fase pré-paradigmática e iniciando-se uma fase de *ciência normal*.

## **Capítulo 3 - A Teoria da Transposição Didática de Chevallard, Izquierdo e de Mello (DT-CHIM).**

### **3.1 – A Teoria da Transposição Didática**

Resumidamente a Teoria da Transposição Didática é uma teoria que envolve a epistemologia da ciência, a teoria cognitiva da ciência, a didática do ensino e teorias sociais para se entender, criar regras e estudar os mecanismos que regem a transformação do conhecimento produzido nas esferas de pesquisa para se adequar ao ensino acadêmico, deste para os livros didáticos e deste para a sala de aula do ensino básico universitário e do nível médio. Ou seja, esta teoria tem como principal objetivo entender como o conhecimento científico se transforma nas múltiplas formas de apresentação. Isto é, como este é reelaborado segundo certas metodologias de ensino e propósitos pedagógicos.

A teoria da DT estuda como o conhecimento produzido nas esferas de pesquisa, denominado de Saber Sábio (Chevallard, 1991), é transformado, adaptado e reelaborado na forma de conhecimento científico escolar, denominado de Saber Ensinado. Na teoria generalizada DT-CHIM (De Mello 2016a, 2016b e 2016c) a teoria da DT deve considerar que o conhecimento produzido nas esferas de pesquisas passa por três etapas até chegar à sala de aula do ensino médio. Isto é, o Saber Sábio é consolidado e/ou normatizado nos programas (esfera) de pós-graduação (o Saber Sábio), em seguida transposto ao nível do Bacharelado e finalmente é transcrito ou adaptado ao nível dos livros didáticos produzidos para o ciclo básico (o Saber a Ensinar). Isso se faz necessário, pois temos atualmente livros textos elaborados para os cursos de pós-graduação e para a graduação. Sendo rigoroso teríamos que subdividir a graduação em nível profissionalizante e ciclo básico universitário. Ver De Mello (2016a). Assim, temos que dividir o Saber Sábio em três partes. O Saber Sábio (Nível Pesquisa), o Saber Acadêmico (Nível Pós) e o Saber Universitário (graduação).

O Saber Sábio → Saber Acadêmico → Saber Universitário → Saber a Ensinar → Saber Ensinado.

É dentro deste contexto que a teoria da DT lida com a problemática de se entender, classificar e estudar como o conhecimento produzido nas esferas acadêmicas vai se adequando, se adaptando e se transformando no conhecimento científico ensinado em sala de aula<sup>2</sup>.

- Segundo essa teoria, um conceito ao ser transferido, transposto, de um contexto ao outro, passa por profundas modificações. Ao ser ensinado, todo conceito mantém semelhanças com a ideia originalmente presente em seu

---

<sup>2</sup> Aqui se entende sala de aula a aula ministrada no ciclo básico.

contexto da pesquisa, porém adquire outros significados próprios do ambiente escolar no qual será inserido. Esse processo de transposição transforma o saber, conferindo-lhe um novo status epistemológico (Astolfi, 1995; apud Brockington, 2005).

Ou seja, o que a ciência escolar e a ciência dos cientistas têm em comum é que suas idéias teóricas, seus conceitos, foram presos e selados dentro de caixas-pretas após ter ganho importância e depois de se tornarem mais "sólidos" e "fortes", ou seja, depois de "consolidados" (De Mello, 2016b). Tese de Latour (1999). Que tal processo de embalagem deixa de fora detalhes, explicações e razões que antes eram necessárias para convencer os outros do seu "poder original de explicar" - tanto a nível científico, bem como a nível didático (Izquierdo, 2003).

De Mello (2016a, 2016c) divide a teoria da DT em duas partes. Uma parte da teoria lida com as influências socioculturais sobre a didática do ensino (Chevallard, 1991; Brockington, 2005). E a outra se preocupa com os aspectos epistemológicos e semânticos das teorias e de como estas são transpostas aos livros textos (De Mello, 2016a, 2016b e 2016c).

Apesar de aparentemente parecer que esses dois aspectos da DT não se influenciarem, eles coexistem e atuam conjuntamente. Assim, temos que incluir na sua análise o meio externo no qual este ocorre. Isto é, temos que levar em consideração que o sistema escolar está inserido em um sistema mais amplo – o sistema de ensino (Brockington, 2005). Chevallard (1991) usa a palavra noosfera para designar e englobar os elementos participantes e que regulamentam a seleção e a determinação das modificações que o conhecimento científico sofrerá ao se transformar em conhecimento escolar. Mais detalhes ver Brockington (2005) e De Mello (2016a).

Devido à diversidade e riqueza de fatores existentes na esfera acadêmica que regulamentam a seleção e a normatização do conhecimento científico De Mello denominou este ambiente de epistemosfera. Dentro desta epistemosfera temos, para o caso dos cursos de exatas, livros de Física escritos para cursos baseado no cálculo e outros baseado na álgebra. Temos livros de Física Conceitual, Física para Engenheiros e tradicionais. De Mello (2016b e 2016c) demonstrou que a DT para o ciclo básico ocorre destes textos e não dos artigos originais. Deste modo uma teoria da DT deve estudar e rastrear como o conhecimento ou Saber Sábido vai se transformando na epistemosfera até se transformar no Saber Ensinado.

Após esta fase, o conhecimento é transformado dentro do contexto das políticas editoriais, dos programas nacionais de produção de textos didáticos e da formulação de políticas públicas até atingir os livros didáticos e ser efetivamente ensinado em sala de aula. É nesse momento que as metodologias de ensino e as propostas pedagógicas entram em cena. Ou seja, ao se estudar ou analisar as transformações que o conhecimento sofre até chegar ao ambiente escolar devemos considerar tanto os aspectos epistemológicos da ciência como os seus aspectos didáticos pedagógicos e metodológicos.

Chevallard e Brockington propuseram algumas características que definem a razão de um determinado saber estar presente nos livros textos. Chevallard (1991) define algumas dessas características. Em resumo estas são (Brockington, 2005):

1 – Consensual: Os integrantes da Noosfera devem concordar que um dado conhecimento esteja definitivamente estabelecido.

2 – Atualidade Moral: Este deve ser relevante e necessário.

3 – Atualidade Biológica: Os conteúdos ministrados devem ser coerentes com as teorias ou modelos atuais ou aceitos pela comunidade científica<sup>3</sup>.

4 – Operacionalidade: Para que um Saber seja transposto e permaneça nos currículos escolares este deve gerar questões, exercícios e problemas.

5 – Criatividade Didática: Alguns temas são ensinados apesar de atualmente não fazerem parte do campo da pesquisa.

6 – Terapêutica: Uma das razões de um determinado saber permanecer nos currículos escolares está no seu sucesso em sala de aula.

Devido aos grandes avanços científicos e tecnológicos, e as necessidades de atualização do currículo escolar, Chevallard e Johsua (1982, apud Astolfi, 1995) elaborou mais cinco regras para a DT (Alves-Filho, 2005). Vamos enumerar abaixo somente as suas duas primeiras, que do nosso ponto de vista se encaixam dentro desta classificação, ou seja:

7 - Modernizar o saber escolar. Os currículos devem abordar temas atuais.

8 - Atualizar o saber a ensinar. Os agentes da noosfera devem definir quais saberes devem ser retirados dos livros texto por estarem obsoletos.

Do nosso ponto de vista a quarta regra de Astolfi (1995) está compreendida na diretriz 4 (Operacionalidade) de Chevallard. E as regras 3 e 5 se enquadram em diretrizes ou sugestões de como a DT deva ser efetuada.

### **3.2 - Teoria da Transposição Didática e o Modelo Cognitivo da Ciência**

Contribuições recentes da epistemologia da ciência para o ensino de Ciências originou uma nova abordagem (teoria) desta última denominada de “modelo cognitivo da ciência” (SKT) que se origina da filosofia kuhniana da ciência (Izquierdo, 2003). Junto com a teoria da “transposição didática” sugerem a possibilidade de se analisar com muito mais profundidade como o conhecimento produzido nas esferas científicas são transpostos às esferas escolares.

De Mello (2015b e 2015c) demonstrou que para se compreender como o conhecimento produzido nas esferas de pesquisa (o Saber Sábio) é transposto às esferas escolares devemos levar em consideração o que se entende atualmente por conhecimento científico e fazer ciência.

Segundo Izquierdo-Aymerich<sup>4</sup> (2003) quando se simplifica ou define-se com propósitos didáticos o que seja ou fazer ciência podemos descrevê-la como um modo de

---

<sup>3</sup> Mais detalhes ver Brockington (2005).

pensar e agir a fim de interpretar certos fenômenos e de intervir através de uma série de conhecimentos teóricos e práticos estruturados. Como resultado do ensino de ciências é desejável que os alunos entendam que o mundo natural apresenta certas características que possam ser modeladas teoricamente. Devido a isso apresentamos a eles, fazendo uma DT, alguns fatos reconstruídos, modelos teóricos, argumentações e proposições que foram selecionados previamente.

Além disso, se a aula de ciências for realizada de acordo com os princípios da aprendizagem significativa (Ausubel, 1977 e 2003), ou seja, de uma transposição didática bem executada (Chevallard, 1991), os professores estarão comprometidos na tarefa de conectar modelos científicos aos usados pelos próprios alunos, recorrendo a analogias e metáforas que possam ajudá-los a se mover a partir do último para o primeiro (Duit, 1991; Flick, 1991; Ingham, 1991; Clement, 1993).

Assim, temos que para ensinar ciências temos que ensinar sistemas ou métodos de se adquirir conhecimento e, ao mesmo tempo, ensinar como chegar a esse corpo organizado de conhecimentos a partir destes. Mas, em geral isso é impossível de se reproduzir em sala de aula (Izquierdo, 1999). Assim, surge a questão: O que é ensinar ciência em sala de aula do ensino médio como do superior?

As teorias científicas são apresentadas nos livros didáticos como um conjunto de modelos relacionados a alguns fatos e alguns instrumentos identificáveis que dão sentido à teoria. As relações entre os modelos e os fatos são desenvolvidos através de postulados e hipóteses teóricas suportadas por fatos experimentais. Deste modo, uma teoria científica é uma família de modelos que em conjunto com hipóteses e ou postulados estabelecem a semelhança destes modelos com os fatos experimentais.

Estas explicações, ou seja, idéias teóricas sobre o mundo criadas para compreendê-lo, são estruturadas em torno de conceitos. Para Latour (1999), esses conceitos, ou o que ele chama de nós ou links, são aquelas coisas que nos permitem compreender a atividade científica (Izquierdo, 2003). Sendo assim, defende-se aqui que Mapeamento Conceitual é a ferramenta ideal para se fazer este estudo. Principalmente, de como estes conceitos ou nós ou links são inseridos, suprimidos, resumidos e trançados para tornar cada texto um todo coerente.

Se analisarmos os livros textos escritos para o ensino médio, sob o ponto de vista do conhecimento e de seu método de se obter, veremos que estes se classificam em dois tipos: a) os que iniciam expondo a teoria e em seguida apresentando os fatos experimentais que redundaram em sua formulação ou descoberta como uma mera confirmação de sua validade ou importância. b) e os que começam expondo os fatos experimentais que redundaram em sua formulação e colocando a teoria como consequência direta destes fatos. Com a introdução de metodologias modernas de ensino temos algumas versões alternativas de exposição dos textos didáticos. Temos livros textos escritos sob a metodologia da aprendizagem em problemas (Glencoe,

---

<sup>4</sup> The following two paragraphs are a collection of statements that together form a definition of that is the DT from the SKT point of view.



2005) em que cada tópico é precedido e motivado pela apresentação de um enigma que contextualiza a necessidade da busca ou formulação da teoria.

Como toda teoria das ciências humanas e sociais, a teoria da DT não contém Leis ou regras “fechadas” que definam como uma DT deva ocorrer ou ser realizada. Dentro do contexto atual do ensino de ciências no ciclo básico e universitário podemos sugerir algumas diretrizes de como a DT deva ser efetuada.

1 – Particionar o conhecimento: Dividir em suas partes constituintes, ou seja, entre teoria, modelo, fatos experimentais, aplicações, fatos históricos, etc.

2 - Articular o saber “novo” com o “antigo” (Chevallard, 1982; apud Astolfi, 1995): Ao ensinar uma nova teoria o autor e/ou professor deve tomar cuidado de deixar claro que a antiga teoria ainda é válida dentro de seus limites de validade.

3 - Tornar um conceito mais compreensível (Chevallard, 1982; apud Astolfi, 1995): Devemos reescrever ou relaborar um conceito para o nível de compreensão dos estudantes.

4 - Tornar um modelo significativo: adaptar e/ou modificar os modelos teóricos, ou modelos científicos para o nível de compreensão dos estudantes. Ou conecta-lo aos usados por estes.

5 – Simplicidade Matemática: O conhecimento científico deve ser reelaborado usando um formalismo matemático apropriado a cada nível escolar.

6 – Atualidade pedagógica: O conhecimento científico deve ser reelaborado de acordo com uma metodologia de ensino.

7 – Atualidade funcional: O conhecimento científico deve ser reelaborado de acordo com o tipo de formação desejada aos estudantes.

Como justificativa a introdução das diretrizes 6 e 7 temos atualmente diversos cursos universitários com diversas propostas pedagógicas. Alguns se propõe formar cientistas em geral e outros a formar profissionais para o mercado de trabalho. Uma linha de educadores defendem que o ensino de ciências deve de algum modo refletir o que seja a atividade científica e o fazer ciências. Já outros defendem que a ciência deve ser ensinada de forma objetiva. Isto é, deve-se ensinar seus conceitos, teorias e aplicações sem se preocupar com o fazer ciência. Logo, o ensino de ciência na escola não pode ser baseado estritamente na analogia do aluno como um futuro cientista, ou seja com uma base científica forte (Izquierdo-Aymerich, 2003).

## CAPÍTULO 4 - MAPAS CONCEITUAIS E MAPEAMENTO DE CONCEITOS.

### 4.1 – CONCEITOS PRELIMINARES

O objetivo deste capítulo é apresentar uma generalização da ferramenta de pesquisa, de apresentação e avaliação do conhecimento denominado de Mapa Conceitual (MC) que denominaremos de Mapa da Estrutura do Conhecimento Científico (MECC). Especificamente o mapeamento conceitual das teorias e leis da Física como apresentadas nos livros didáticos em geral. Assim, vamos lidar com o problema de apresentar leis, conceitos e teorias na forma gráfica ou visual e de forma coerente. Como se deseja criar uma metodologia de pesquisa que permita ao pesquisador em ensino de ciências comparar, classificar e elaborar livros textos de ciências exatas em geral vamos mostrar que se criarmos regras mais ou menos rígidas este se torna uma poderosa ferramenta de elaboração do conhecimento. Mas, as leis físicas são expressas em termos de enunciados que contém formulas matemática. Equações (vetoriais) do tipo  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  têm importância central na Física. Nomes de cientistas famosos e de experimentos assumem papel fundamental na divulgação e caracterização de certas leis. Como expressá-los usando MC?

Têm-se várias formas de representar graficamente uma sequência de atividades, ideias, conceitos, etc. Ver Figura 1. A mais simples de todas é através de um fluxograma. Fluxogramas são representações gráficas através de símbolos e flechas usados para descrever simbolicamente uma sequência de atividades, operações ou ações que estão encapsuladas em boxes. Ao contrário dos Mapas Conceituais, estes não possuem ou usam palavras conectoras entre seus boxes.

Outra forma simples de apresentar e organizar ideias graficamente seria através de um organograma. Organograma é um gráfico que representa a estrutura formal de uma organização. Este, também, não usa palavras de ligação.

Podemos usar Quadros Sinóticos para resumir e apresentar ideias. O quadro sinótico, ou também sinótico, é o resumo esquematizado de uma ideia, de um texto, documento e até mesmo da aula de um professor. Sua principal vantagem é de permitir a visualização da estrutura e da organização do conteúdo que expõe um determinado texto. Ele pode ser elaborado com a ajuda de chaves, diagramas e até mesmo utilizar uma série de colunas e fileiras assim como tabelas.

Outra maneira é através de redes semânticas. Uma rede semântica é uma forma de representação do conhecimento definida como um grafo direcionado no qual os vértices representam conceitos e as arestas representam relações semânticas entre os conceitos. Elas são consideradas uma forma comum de banco de dados legível por uma máquina. (Uchôa, 1994)

Figura 1.1

**Figura 1** – Mapa Conceitual ilustrando as formas mais usuais de apresentação gráfica de ideias e conceitos.

Também podemos usar um mapa mental. Um mapa mental pode ser considerado como uma variante de rede semântica. Ao usar cores e figuras a ênfase está na geração de uma rede semântica que invoca a criatividade humana. Apesar disso, a grande diferença entre o mapa mental e a rede semântica é que a estrutura do mapa mental é hierárquica, com os nós partindo de um ponto central. Diferentemente, na rede semântica os nós podem ser conectados com quaisquer outros nós. (Archela, 2004)

Figura 1.2

**Figura 2.** Exemplo de um mapa mental

Um algoritmo é uma descrição passo-a-passo de uma metodologia que conduz à resolução de um problema ou à execução de uma tarefa. Em geral este é representado como um esquema de resolução de um problema. Pode ser implementado com qualquer sequência lógica de valores ou objetos (por exemplo, a língua portuguesa, a linguagem Pascal, a linguagem C, uma sequência numérica, um conjunto de objetos tais como lápis e borracha), ou seja, qualquer coisa que possa fornecer uma sequência lógica. Têm-se a baixo um algoritmo implementado num fluxograma sobre o estado de uma lâmpada.

Figura 1.3

**Figura 3** – Exemplo de Fluxograma.

Este foi desenvolvido e aperfeiçoado para tornar mais simples a tarefa de programar computadores. Este está baseado na metodologia de subdividir as tarefas ou problema. Por exemplo, podemos dividir, sistematicamente, o problema que temos para resolver em subproblemas menores, até obtermos um conjunto de subproblemas de dimensão suficientemente pequena que nos permita resolve-los. Em geral os algoritmos são apresentados na forma de fluxogramas, antes de serem postos em alguma linguagem computacional apropriada.

## 4.2 – MAPAS CONCEITUAIS

Mapas Conceituais é uma das formas de conceitualização estruturada. Conceitualização estruturada (SC) é qualquer processo ou sequência de etapas definidas que resulte em uma representação conceitual (30). Mapas Conceituais é uma forma concisa de apresentar e conectar conceitos (Novak, 1991; Moreira, 2005). Como esse é uma forma de mapeamento este usa palavras de ligação para conectar ideias ou conceitos. Devido à variedade e liberdade de apresentar graficamente os conceitos temos que MC é a ferramenta ideal para se avaliar, apresentar, sintetizar e sumarizar o conhecimento (Novak, 2006).

Pode-se dizer que um conceito mais o seu conector (palavra de ligação) é a unidade ou elemento que forma ou constrói um mapa de conceitos. Seria a sua unidade atômica.

#### Figura 1.1.1

Joseph D. Novak (2006) define de uma maneira geral o que se entende por mapeamento conceitual (CM):

“Mapas conceituais são ferramentas gráficas para se organizar e representar o conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente incluídos em algum tipo de círculo ou boxes, e o relacionamento entre dois conceitos é feita através de linhas. Palavras ou frases inseridas nas linhas, denominadas palavras ou frases de ligação, especificam o relacionamento entre dois conceitos.”

Quando os MC são bem construídos permitem uma visualização e percepção de como os conceitos chaves de um determinado tópico ou campo de conhecimento se sucedem se entrelaçam e se organizam na estruturação deste conhecimento. Percebeu-se prontamente que MC mal elaborados podem refletir falhas na formação ou entendimento de certos tópicos ou determinado campo do conhecimento. Assim, procurou-se criar algumas regras básicas para a construção e padronização dos MC's, que Moreira resumiu em (Moreira, 2006):

- 1 – Identificar os conceitos chaves, limitando-os a no mínimo 6 e no máximo 10. Ordenar os conceitos, colocando o(s) mais inclusivo(s) na parte superior do mapa e gradualmente agregando os demais conceitos na parte inferior deste até completar o diagrama. Ligar esses conceitos com linhas e rotulando essas linhas com uma ou mais palavras chaves que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras chaves devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação. Evitar palavras chaves que apenas indiquem relações triviais entre conceitos.
- 2 – Buscar relações horizontais e cruzadas.
- 3 – Se desejar e se for possível, agregar exemplos ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes.
- 4 – Setas podem ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações conceituais, mas não são obrigatórias.
- 5 – Dois conceitos e uma palavra chave formam uma proposição.

A pesar destas regras o mapeamento conceitual é uma ferramenta muito flexível e pode ser usada de diversas formas. Como afirma o próprio Moreira (2006):

*“Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino.”*

Devido a sua flexibilidade e grau de liberdade de construção MC é uma das ferramentas mais usada para representar e avaliar o conhecimento. Como este pode ser construído na estrutura do conhecimento mais inclusivo para o menos inclusivo este é a ferramenta ideal para se ensinar significativamente e/ou avaliar se houve aprendizagem significativa. Assim, as formas mais comuns de se construir um MC são (Tavares, 2007):

1 - Mapa Conceitual tipo teia de Aranha: O mapa conceitual tipo "aranha" é organizado colocando o tema central ou o fator unificador no centro do mapa. Os sub-temas irradiam para fora circundando o centro do mapa.

FIGURA 1.4

**Figura 4** – Mapa Conceitual do tipo Aranha.

2 - Mapa Conceitual Hierárquico: O mapa conceitual tipo hierárquico apresenta informações em uma ordem decrescente de importância. A informação mais importante é colocada no topo. Fatores distintivos determinam a colocação da informação.

3 - Mapa Conceitual tipo Fluxograma: o mapa conceitual tipo fluxograma organiza informações em formato linear.

4 - Mapa Conceitual tipo Sistema: O mapa conceitual tipo sistema organiza informações em um formato semelhante a um fluxograma com a adição de 'INPUTS' e 'OUTPUTS'.

Assim, para fins específicos e como se fará necessário aqui, se faz necessária que se defina regras bem estabelecidas na construção de MC. Defende-se aqui que MC está para a análise dos conceitos da ciência o análogo da linguagem estruturada para a programação.

Devido à sua forma concisa, hierárquica e gráfica de apresentar os principais conceitos temos que CM é uma ferramenta poderosa para realizar a análise da estrutura conceitual que os livros são escritos. A construção de um CM para um tópico ou todo o livro, permite que você veja prontamente e de forma sucinta o quadro conceitual que um determinado autor usou para concatenar e organizar os conceitos-chave que entram na preparação de seu livro. Assim, é necessário construir um CM que nos mostre a interligação entre os conceitos inseridos e usados, e que permita visualizar rapidamente a estrutura subjacente à construção de um corpo conceitual do conhecimento. Mais detalhes sobre MC ver Novak (1990) e Moreira (2005).

FIGURA 1.5

**Figura 5** – Mapa Conceitual do tipo Hierárquico.

#### 4.3 – Mapas das Estruturas do Conhecimento Científico

**Mapas Conceituais e as Leis Físicas:** Quando se constrói toda uma metodologia de pesquisa para se estudar como o conhecimento é gerado e transmitido, no caso particular aqui da Física, temos que analisar com um pouco de mais cuidado o que

sejam conceitos e palavras de ligação em um MC. Em primeiro lugar as palavras de ligação não estão restritas a meras preposições, mas estas podem ser verbos, duas palavras, etc. (Novak, 2006). Sem entrar em detalhes do que seja um conceito na sua definição mais geral ou abrangente, maiores detalhes ver Novak (2006) e Moreira (2005), conceitos Físicos são definições baseadas em hipóteses, leis ou teorias que em geral estão fundamentadas em leis da Física que por sua vez são expressas em termos de funções matemáticas e suas equações. Na Física certos conceitos ganham tanta importância que estes adquirem um nome próprio, como por exemplo, radiação de corpo negro. Vejamos isso com um pouco de mais detalhes.

**Símbolos e representação simbólica de relações e operações.** Quando estamos estudando ou ministrando conceitos de cinemática a letra ou símbolo ou sinal  $s$  significa espaço e recebe o nome de grandeza Física. Mas, espaço na Física significa lugar, região com três dimensões (altura, largura e profundidade) e é uma grandeza dimensional, isto é, é obtida por meio de uma medida através de uma comparação com uma escala (por exemplo, uma barra de um metro). Deste modo, um sinal na Física possui uma série de significados e conceitos. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou (1957).

Por outro lado, temos grandezas primitivas e derivadas na Física. Ou seja, como na matemática, na Física se manipula as grandezas Físicas através das regras da álgebra e do cálculo para se produzir ou derivar outras grandezas Físicas. Estas se denominam de grandezas derivadas. Através de medidas laboratoriais bem planejadas e sobre forte controle de condições externas se obtém relações funcionais e equações que descrevem o comportamento e a dependência funcional destas grandezas<sup>5</sup>. Algumas destas funções são tão importantes que recebem a designação de lei fundamental da Física (Lindsay, 1957). Por exemplo, a 2ª Lei de Newton:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ . Outras fórmulas comumente denominadas de lei são apenas hipóteses, como a lei da Gravitação Universal,

$$\vec{F} = \frac{GMm}{r^3} \vec{r}$$

**Leis da Física.** *Uma lei física nada mais é que uma descrição simbólica (na forma "mais simples") de uma rotina observada em um campo limitado de fenômenos. É bom ressaltar novamente a sua natureza descritiva. Nunca pretende dar uma razão para nenhum dos fenômenos descritos, no sentido metafísico* (Lindsay, 1957). Por exemplo, a 2ª Lei de Newton nos diz que quando aplicamos uma força  $\vec{F}$  a um corpo de massa  $m$  este adquirirá uma aceleração  $\vec{a}$ . Ou seja, não constitui o que é popularmente chamado de explicação. A lei de gravitação de Newton não é uma explicação da gravitação, no sentido de que explica por que as partículas se atraem. Trata-se apenas de dar uma descrição exata da atração observada. A lei física tenta responder a pergunta "como" e não a pergunta "por que". Mas, quando colocamos o símbolo  $\vec{F}$  para um físico ou estudante de Física fica explícito tudo o que mencionamos acima e que no lado direito desta expressão podemos substituir qualquer dos tipos de forças existentes na natureza. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou (1957).

<sup>5</sup> Ver por exemplo, David Hume (1972).

**Teoria Física e sua Construção.** Para se construir uma teoria física precisamos definir seus conceitos primitivos e seus símbolos. Na Mecânica estes seriam os de espaço (s), tempo (t) e massa (m); na Teoria dos Gases seriam pressão (P), volume (V) e Temperatura (T), e assim por diante. A partir destes obtemos ou construímos outros símbolos ou grandezas derivadas. Na Mecânica temos velocidade (v), aceleração (a), momento (p) e outros. Estamos então prontos para o próximo passo - a escolha de hipóteses ou assumimos relações fundamentais entre os símbolos por dedução lógica a partir da qual todos os resultados especiais da teoria, a saber, as leis, devem ser obtidas. Maiores detalhes ver Lindsay e Margenou (1957).

Logo, devido ao trabalho árduo de sistematização e definição do que seja um mapa conceitual pela comunidade científica terei que criar uma denominação particular para mapas conceituais em que os boxes (caixa) de conceito sejam equações, fórmulas, símbolo ou nomes<sup>6</sup>. Como se é de esperar, poderemos usar símbolos para palavras de ligação que sejam funções, equações, nomes da Física, etc. Denominaremos estes mapas de conceitos generalizados de “Mapas de Estruturas do Conhecimento Científico”.

Assim, no caso de se estar estudando ou avaliando um texto cujo conteúdo seja a construção epistemológica e pedagógica de uma teoria pertencente à Física pode-se usar símbolos e nomes das leis da Física na construção de uma representação gráfica deste sob a forma de um mapa de estrutura do conhecimento científico (MECC). Que nada mais é que um mapa conceitual generalizado. Colocamos abaixo uma unidade atômica deste em que de um lado temos a famosa equação de Planck ligada através do sinal de integral (uma soma sobre todos os comprimentos de onda) a Lei de Rayleigh.

Figura 1.1.2

Deste modo, fica muito mais fácil para um professor de Física determinar se o livro texto é um livro mais conceitual, isto é, se ele omite certas passagens matemáticas ou não. Isto é muito importante na escolha conveniente do livro didático para um curso de exatas. Na sequência discutiremos algumas regras de construção desses mapas de estrutura do conhecimento científico de modo a criarmos uma ferramenta que nos auxilie na construção e avaliação de textos didáticos.

#### **4.4 - Mapas de Estruturas do Conhecimento Científico, Transposição Didática e Modelos Cognitivos da Ciência.**

Mas, as teorias científicas são apresentadas nos livros didáticos como um conjunto de modelos relacionados a alguns fatos e alguns instrumentos identificáveis que dão sentido à teoria. As relações entre os modelos e os fatos são desenvolvidos através de postulados e hipóteses teóricas, que podem ser mais ou menos verdadeiras ou falsas, desde que possuam conteúdo empírico. Deste modo, uma teoria científica é uma família de modelos que em conjunto com hipóteses e ou postulados estabelecem a semelhança destes modelos com os fatos experimentais (Izquierdo, 2003; Autor, 2017a).

---

<sup>6</sup> Acredito que seja por tempo determinado, pois, no fundo temos um mapa conceitual.

Estas explicações, ou seja, idéias teóricas sobre o mundo criadas para compreendê-lo são estruturadas em torno de conceitos. Para Latour (1999), esses conceitos, ou o que ele chama de nós ou links, são aquelas coisas que nos permitem compreender a atividade científica e sem o qual a atividade científica simplesmente não existiria (Izquierdo, 2003). Assim, sendo MECC um diagrama de significado, indicando relações hierárquicas entre conceitos ou entre palavras criadas para representar conceitos, é a ferramenta ideal para mapear como esses nós ou links são preparados e organizados de modo a criar um todo coerente e que faça sentido para um determinado nível de escolaridade. Ou seja, estudar como o conhecimento produzido para um nível de escolaridade é transcrito para outro. Mais detalhes sobre MC ver Novak (1990) e Moreira (2006).

Veremos a seguir (Autor 2017c) para o caso do tema da física denominado Efeito fotoelétrico, que atualmente o conhecimento científico é estruturado didaticamente em suas transcrições para livros didáticos em: a) modelos; b) o núcleo da teoria; c) fatos experimentais; d) os conceitos-chave; e) a metodologia e f) a aplicação da teoria. Assim, é necessário entender como esses "pedaços de conhecimento" são inseridos, concatenados e resumidos para tornar cada texto um todo coerente.

Temos que no caso em que a teoria original foi construída em um ambiente científico de uma revolução paradigmática (Kuhn, 1970), a teoria deve ser primeiro consolidada no novo paradigma antes de sofrer um DT para o ensino médio. Que seus modelos explicativos originais devem ser adaptados ou reescritos neste novo paradigma. Autor (2017b, 2017c)

Assim, o MECC construído para analisar como o conhecimento sofre um DT deve ser construído obedecendo algumas regras. Ou seja, a estrutura conceitual acima descrita deve ser muito clara. Como um algoritmo, deve ser criado com a finalidade de descrever a estrutura do conhecimento científico. O construtor de MC deve ser treinado para dissecar o conhecimento em suas partes fundamentais.

#### **4.5 - MAPAS DE ESTRUTURAS DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO E A ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO**

Vamos usar a seguir MC para analisar a estrutura conceitual com que são escritos os livros didáticos. Isto é, como o conhecimento produzido para um nível de escolaridade é transcrito para outro. Como dito acima, devido a sua forma concisa, hierárquica e gráfica de apresentar os conceitos chaves a construção de um MC para um tópico ou para o livro todo, permite visualizar prontamente e de forma sucinta a estrutura conceitual que um determinado autor usou para concatenar e organizar os conceitos chaves que entram na elaboração de seu texto didático.

A simples análise do índice de um livro ou apostila não nos permite visualizar prontamente a estrutura subjacente à construção conceitual de um corpo do conhecimento. Faremos abaixo uma análise comparativa de quatro textos de Física



Moderna para ilustrarmos esta ideia. Neste artigo nossa análise se restringirá ao conteúdo denominado primórdios da Mecânica Quântica até a introdução da equação de Schrödinger.

#### 4.5.1- Nível Universitário

Nesta sequência vamos usar como texto de referência o livro Física Quântica dos autores Eisberg e Resnick (1974), escrito para o nível profissionalizante do curso de Física. Outra característica deste livro é que este foi escrito para formar cientistas, em particular formar físicos para trabalharem com a Física Moderna. Como este é um dos primeiros livros a ser usado nos cursos de Física Moderna, e é uma versão melhorada do livro de 1961 do primeiro autor, intitulado Fundamentos da Física Moderna, é natural que a maioria dos autores dos livros modernos tenha estudado este livro texto ou pelo menos o usaram como uma de suas referências. Como exemplo comparativo vamos analisar dois outros livros escritos para o ciclo básico e com a finalidade de formar engenheiros para atuarem no mundo moderno atual.

Começando com o Eisberg temos que este contém os tópicos:

Cap1. Radiação Térmica e O postulado de Planck

Cap 2. Fótons – Propriedades Corpusculares da Matéria

Cap 3. Propriedades Ondulatórias da Matéria

Cap 4. O Modelo de Bohr para o Átomo

Cap 5. A Equação de Schrödinger

Usemos este livro para definirmos o modelo de construção de nossos mapas conceituais. Quando o texto for muito abrangente ou quando cada capítulo ou seção contiver muitos tópicos, iremos colocar os tópicos principais em uma coluna vertical central e seus subtópicos serão apresentados em uma linha horizontal secundária lateral. Se precisarmos apresentar uma subseção usaremos uma linha diagonal, como fosse uma profundidade, dando um caráter tridimensional ao MC.

Por exemplo, temos o MC-1 do Eisberg na figura 4.5.1. Neste a sequência de seus capítulos está apresentada na coluna central e as principais seções estão apresentadas nas linhas laterais. Para a finalidade empregada aqui aos MC, ao contrário dos MC ‘tradicionais’, não vamos usar linhas cruzadas para indicar quando um conceito definido completamente dentro de um capítulo ou seção for usado em um capítulo ou seção posterior. Pois é o que se espera que o ocorra normalmente em um texto. Usaremos estas somente para indicar os casos em que um conceito for utilizado em uma seção e introduzido mais tarde em uma ou mais seções.

Como este texto foi escrito em uma época em que normalmente não se ensinava a Física Moderna no ensino médio a explicação de cada tópico está inteiramente contida dentro do capítulo e seus conceitos são usados na sequência em outros capítulos, assim não temos linhas cruzadas entre as colunas secundárias. Veremos um contraexemplo mais adiante. No final do 1º capítulo temos algumas aplicações da teoria de Planck e que estão na mesma ordem de importância entre si. Assim, colocamos estas em uma

dimensão de profundidade, de mesma importância, fazendo com que este MC possua três dimensões.

Vemos na 1ª linha a filosofia por trás da ideia do que seja fazer ciência: Definição de Radiação Térmica → Dados experimentais → leis empíricas → Generalização (Teoria de Planck) → aplicações. Na segunda linha temos toda a fundamentação da dualidade onda-partícula e a teoria de espalhamento. Na 3ª linha temos as propriedades ondulatórias da matéria e o princípio da incerteza e na 4ª as suas aplicações na formulação dos modelos atômicos. Todas estas seções foram elaboradas no espírito da primeira seção. Não colocamos as deduções ou equações matemáticas, pois supomos que o livro não as omita e que esta deva ser do nível apropriado para se formar bacharéis em Física.

Vale a pena notar que como a ênfase no texto é apresentar fatos experimentais que resultem na formulação de uma determinada teoria ou modelo notamos que este apresenta alguns fatos experimentais antes do modelo ou teoria que o explica, desrespeitando a ordem de suas descobertas ou formulação. Por exemplo, o tópico “Propriedades ondulatórias das Partículas” aparece antes do modelo de Bohr, apesar de que cronologicamente o modelo de Bohr ter sido proposto antes do teorema de De Broglie, confirmando a teoria da DT que afirma que muitas vezes a forma de se ensinar ciência difere substancialmente da de se fazer ciência. Como os cursos que irão usar este livro texto pressupõe que os estudantes tenham domínio da matemática apropriada eles não omitem nenhum conteúdo ou conceito necessário à formulação da MQ.

### Figura 1.6

**Figura 4.5.1** – Mapa Conceitual (MC-1) do tópico de física moderna do livro do autor Eisberg (1974)

Como dissemos anteriormente, o livro do Eisberg tem como objetivo formar cientistas, principalmente para trabalharem com física de altas energias. Assim, no capítulo “O Modelo de Bohr para o Átomo” eles fazem um estudo detalhado do modelo de espalhamento de Rutherford, que será suprimido da maioria dos livros textos para o ciclo básico.

Como exemplo de texto de Física Moderna (FM) escrito para curso de exatas em geral e que segue quase a mesma estrutura do Eisberg temos o livro Princípios de Física dos autores Serway & Jewett (2006). O conteúdo de FM deste livro está quase todo contido no capítulo 28. Nele temos:

Introdução: Relata de forma sucinta a passagem da física clássica para a moderna.

1. RCN e a Teoria de Planck	8. O Princípio da Incerteza
2. O efeito fotoelétrico	9. Uma interpretação da Mecânica Quântica
3. O Efeito Compton	10. Uma Partícula em uma caixa
4. Fótons e Ondas Eletromagnéticas	11. A Partícula Quântica sob condições de contorno
5. As Propriedades ondulatórias das partículas	12. A Equação de Schrödinger.
6. A partícula quântica	

7. Novamente o experimento da fenda dupla	13. Tunelamento através de uma barreira de potencial.
---	---

Note-se que nesta coleção o modelo de Bohr é descrito no capítulo 11 (Mecânica) junto com o modelo gravitacional e depois somente é utilizado na seção 29.7 do capítulo 28 – Física Atômica. Com isto os autores concentraram toda a explicação para a estrutura atômica de átomos monoelétrônicos para este capítulo. Novamente vemos que os autores desrespeitam a ordem cronológica das descobertas científicas e neste caso de semelhança de conteúdo em função de uma opção pedagógica.<sup>7</sup> A análise do seu conteúdo nos indica que este texto deva possuir a mesma estrutura que a do texto Eisberg. Para verificarmos isto façamos seu MC, MC-2 na figura 4.5.2.

**Figura 1.7**

**Figura 4.5.2** – Mapa Conceitual (MC-2) do tópico de física moderna do livro do autor Serway (Serway)

No MC-2 vemos que a estrutura deste livro é muito semelhante ao do Eisberg. Temos que a partir da ‘radiação de Corpo Negro’, passando pelo ‘efeito fotoelétrico’, até chegar em “As Propriedades ondulatórias das partículas” o texto é simples e sucinto e apresenta uma estrutura semelhante ao do livro Eisberg subtraída a teoria de espalhamento de Rutherford e do Modelo de Sommerfield. Aqui vemos como um conteúdo com alto grau de dificuldade matemática é filtrado na DT. Note-se que os tópicos como produção e aniquilação de pares estão incluídos nas seções referentes à Física Nuclear.

Na 1ª seção, radiação de corpo negro temos a mesma concepção do que seja formar cientistas ou raciocínio científico: Definição de Radiação Térmica → Dados experimentais → leis empíricas → Generalização (Teoria de Planck) → aplicações. Pelas dimensões das linhas horizontais vemos que as teorias abordadas com mais detalhes são a da radiação de corpo negro e efeito fotoelétrico, seguido pela descrição das propriedades ondulatórias das partículas e suas aplicações.

Devido às dificuldades matemáticas da ‘partícula quântica’ em diante os autores alteram a sequência didática para aproveitar os conceitos de óptica física ministrado anteriormente e os conhecimentos prévios de equações diferenciais para introduzir o conceito de partícula quântica e motivar a necessidade de postularmos uma equação de onda para a partícula. Ver MC-2 na figura 4.5.2. Vemos nestas seções, principalmente quando os autores precisam discutir a física de uma partícula em uma caixa antes de se introduzir a equação de Schrödinger, as dificuldades encontradas pelos autores em realizar a transposição didática dos textos produzidos para o nível profissionalizante para um texto adequado ao ciclo básico de um curso de exatas. Podemos constatar na seção 7 até a 13 o fenômeno da diluição do conhecimento, ou seja, como um tópico de Física Moderna abordado geralmente em uma única seção se desmembra em várias seções.

<sup>7</sup> Modelo de Bohr pertence ao tópico Física Moderna e não Mecânica Clássica.

Como exemplo de livro texto que não segue a estrutura didática do Eisberg temos o Livro Física IV (Óptica, e Física Moderna) dos autores Young e Freedman – (Young e Freedman). O conteúdo deste livro está distribuído em três capítulos, a saber:

Cap38 – Fótons, Elétrons e Átomos.

Cap39 – A Natureza Ondulatória das Partículas.

Cap40 – Mecânica Quântica.

A sequência de apresentação dos tópicos da Física Moderna deste livro é muito interessante. Ver MC-3 na figura 4.5.3. A primeira impressão que se tem que ela deve ser parecida com a do Eisberg, suprimindo o capítulo “radiação de corpo negro (RCN)”. Mas, se procurarmos atentamente onde se encontra a seção RCN veremos que esta está apresentada resumidamente na seção “espectro contínuo” no fim do capítulo. Assim, vemos no MC-3 (figura 3) que esta sequência didática é completamente diferente da sequência de apresentação do livro do “Eisberg”. Como a sequência de conteúdos é muito longa colocamos somente os dois primeiros capítulos divididos em dois MC. O capítulo 38 no MC-3 (figura 3) e o capítulo 39 no MC-4 (figura 4). Como o texto está contido em somente três capítulos colocamos o conteúdo deles em uma única coluna central.

Logo de início vemos que este livro foi escrito com uma forte ênfase no ponto de vista da óptica. Já na primeira seção eles apresentam uma introdução com ênfase na histórica da teoria de emissão e absorção de luz (ver Box lateral) e já usam o termo fótons para descrever a radiação eletromagnética. Obviamente eles supõe que os estudantes que usarão este livro já tenham visto a teoria do Efeito Fotoelétrico no ensino médio. Fato obrigatório nas escolas americanas e europeias. Eles vão dividir o capítulo entre teoria do espectro discreto e contínuo de emissão da luz. Assim, eles pulam o tópico “Radiação de Corpo Negro” (que será ministrado na seção ‘espectro contínuo’) e iniciam com o efeito fotoelétrico (EF).

### Figura 1.8

**Figura 4.5.3** – Mapa Conceitual (MC-3) do tópico de física moderna do livro do autor Young e Freedman

Como podemos ver no MC-3 eles começam abordando os fatos experimentais que caracterizam o EF. Em seguida eles usam a Teoria da Relatividade Restrita para introduzir o conceito de momento linear do fóton (antecipa Compton) que será usado para explicar o EF, que por sua vez será usado para explicar o tópico de “espectro atômico de linhas e níveis de energia”, e finalmente será usado no Efeito Compton. Vejam as linhas cruzadas no MC-3. Observem que com o intuito de completar a ideia ou teoria do espectro discreto de energia de emissão de fótons pelo átomo, eles antecipam ou fracionam o conceito do modelo atômico de Bohr.

### Figura 1.9

**Figura 4.5.4** – Mapa Conceitual (MC-4) do tópico “A natureza das ondas de partículas” do livro do autor Young e Freedman.

Observamos que eles usam as conclusões do modelo de Bohr para explicar o tópico “espectro atômico de linhas e níveis de energia”. Mas este só será elaborado mais adiante no texto para explicar o espectro do átomo de H (ver MC-3). Este também será usado em seguida para explicar o espectro de Raios-X. Como até o momento o texto só abordou o espectro discreto de energias, ele aproveita o tema espectro contínuo de energias para introduzir a radiação de CN e a hipótese de Planck. Daí em diante ele segue uma ordem quase igual ao do Eisberg. Eles usam o mesmo artifício do livro Serway (descrito acima) para introduzir de forma didática a equação de Schrödinger.

Aqui podemos ver que enquanto nos livros textos para formar físicos o tema ou conceito central é o da quantização, ou a motivação para introdução da equação de Schrödinger, o tema central deste livro texto ou que os autores Young e Freedman consideram mais importante é o do espectro discreto das raias espectrais. Eles sacrificam a ordem cronológica de inserção dos conceitos em favor de uma explicação mais abrangente do tema central. Isso pode ser melhor observado através de seus MC's.

Completando esta análise, se olharmos alguns livros textos como o do Halliday (1997) veremos que estes não abordam o tópico radiação de corpo negro e introduzem a quantização da energia no tópico efeito fotoelétrico. Em relação à apresentação dos modelos atômicos vemos que estes estão pulverizados em alguns capítulos. O modelo de Bohr é apresentado no cap. 39, “Mais Ondas de Matéria”, onde eles apresentam várias soluções da equação de Schrödinger e colocam o modelo de Bohr como mais um exemplo de confinamento de elétrons. De novo nos deparamos com o problema da DT da Eq. Schrödinger. O modelo de Pudim de Passas e o modelo de Rutherford estão inseridos no cap. 42 – “Núcleo Atômico” – onde os autores abordarão o tema de espalhamento de partículas e técnicas de estudo do núcleo atômico.

#### **4.5.2 – Ensino Médio.**

##### **Physics Principles And Problems – Glencoe Science**

Como livro texto escrito para o ensino médio escolhemos o Physics Principles and Problems (Glencoe, 2005). Escolhemos este por ser muito utilizado nas escolas americanas e por estar disponível na web. O tópico Física Moderna é apresentado em quatro capítulos, a saber: Cap. 27 – Teoria Quântica; Cap. 28 – O Átomo; Cap. 29 – Eletrônica do Estado Sólido e Cap. 30 – Física Nuclear. O estudo realizado aqui se restringirá aos capítulos 27 e 28. Devido ao tamanho do seu MC teremos que dividi-lo em quatro partes. Os capítulos 27 e 28 estão apresentados nas figuras 4.5.5 a 8 abaixo. Podemos ver nos seus MCs, fig.5 a 8, que seu projeto pedagógico esta embasado em três pilares: 1) Introdução do tema através dos problemas experimentais (enigma) que afligiam os cientistas na época; 2) apresentação da teoria através da descrição de um experimento em detrimento da descrição detalhada do modelo científico; 3) finalização através de aplicações tecnológicas.

Devido ao fato de que as teorias físicas sejam compostas por teoremas, hipóteses, modelos e leis formuladas em termos de funções ou equações matemáticas,

muitos físicos defendem a ideia que uma teoria Física só possa ser transposta se sua matemática puder ser escrita em linguagem apropriada a um determinado nível de conhecimento. Assim, no caso do ensino médio estas funções ou equações assumem papel muito importante na DT. Deste modo colocamos equações ou funções em boxes amarelos no CM do Glencoe.

Note-se que o que diferencia em parte os níveis acadêmico, acadêmico plus e o honor no ensino médio americano são o nível de abordagem matemática. Vemos que o mesmo ocorre com os livros escritos para os anos iniciais do curso universitário. Temos os livros de Física escritos para os cursos baseados no cálculo e os Fundamentos da Física para os cursos baseados na álgebra. Deste modo, é consenso que se devam criar metodologias de ensino que desenvolvam habilidades matemáticas em estudantes que desejam seguir carreira de pesquisadores. Essas funções e equações matemáticas e os problemas e questões criados para desenvolver essas habilidades são denominados de “coisas da Física” ou “objetos da Física” pelo “Grupo de Relaboração do Ensino de Física”.

### Figura 1.10

**Figura 4.5.5** – Mapa Conceitual (MC-5) do capítulo 27 – Teoria Quântica - do livro do programa “Glencoe Science – Physics, Principles and Problems”. (Glencoe)

Analisando a primeira linha, radiação de corpos incandescente, vemos que os autores substituem a metodologia de ensino voltada para formar cientistas, ver 1ª linha do MC-1 do Eisberg, por uma metodologia de ensino voltada ao ensino médio. Isto é, eles introduzem o assunto colocando um enigma ou desafio que os cientistas se depararam em sua época. Depois eles ilustram o fenômeno físico com um exemplo caseiro ou de baixo custo. Em seguida eles apresentam a solução de Planck seguida por aplicações práticas ou tecnológicas.

Na 2ª linha temos a teoria do efeito fotoelétrico que é apresentada no mesmo modelo pedagógico. O que também é verdade para o tópico: Modelos Atômicos. Ver figuras 7 e 8. Vemos nos MC's do texto Glencoe, figuras 4.5.5, 4.5.7 e 4.5.8, a importância que o efeito fotoelétrico e dos modelos atômicos assumiram para o ensino médio. Note-se que tivemos que colocar a seção modelos atômicos em 2 (dois) MC's à parte. Figuras 4.5.7 e 4.5.8.

Na fig.4.5.5 vemos que o texto para o efeito fotoelétrico contém basicamente os mesmos conteúdos conceituais do Livro do Eisberg. Além de conter a equação que fornece a dependência linear entre a frequência da luz e a energia cinética do elétron ejetado, eles discutem em detalhes os fatos experimentais que contradizem o modelo clássico para a radiação EM e confirmam a hipótese da quantização da energia EM. Ver as linhas cruzadas à direita do seu MC. Vemos neste texto como em outros que a equação que relaciona a energia cinética do elétron ejetado com a frequência da luz incidente é denominada da equação de Einstein. Uma característica marcante da transposição didática para o ensino médio e que ganhou o nome de ‘coisas da física’ pelo grupo do GREF.

A ultima linha do MC-5, fig. 4.5.5, e o MC-6, fig. 4.5.6, reforça a constatação que a metodologia de ensino do programa Glencoe ser baseada nas TIC's. Devido ao propósito de introduzir as aplicações tecnológicas das propriedades ondulatórias da matéria eles abordam com certo detalhe este tópico, MC-6, que necessita dos conceitos do tópico “efeito Compton”. Ultima linha do MC-5. É interessante observar que muitas seções do livro terminam com aplicações tecnológicas, atividades laboratoriais e uma seção denominada “Como isso funciona”.

Confirmamos aqui, no Glencoe, que devido à dependência (equação) linear entre  $E$ , o potencial trabalho e a frequência e sua geração de exercícios (coisas da Física), que o tópico ‘efeito fotoelétrico’ é o preferido pelos livros textos do ensino médio. Ver fig. 4.5.5. Vemos na seção ‘Átomo de Bohr’, principalmente na ênfase dado a dedução da expressão para o raio e a energia de Bohr que a preocupação dos autores na preparação dos estudantes para a resolução de problemas. Vejam os boxes ‘coisas da Física’ no seu MC, fig.4.5.8. Observa-se nas seções “Ondas de Matéria”, “Modelo Atômico de Bohr” e “Modelo Quântico do Átomo” que a utilização de metodologias modernas de ensino como ICT e BLP não implica que se deva necessariamente sacrificar o rigor matemático de apresentação de uma teoria. Ver nas figuras 4.5.6 a 8 a presença simultânea de boxes em pêssego, amarelo e violeta.

Segundo Pietrocola (Brockington, 2005) às características ‘simplicidade’ e ‘operacionalidade’ de um determinado conteúdo científico são determinantes na sua inclusão e permanência nos currículos escolares. Isto é devido, em parte, ao fato de que a matemática envolvida na sua formulação seja facilmente transcrita ao nível médio. Temos aqui, novamente, o fenômeno da diluição do conhecimento. Comparando sua estrutura com o do livro do Eisberg e com os dos livros para o ciclo básico universitário pode-se observar que este se assemelha muito mais aos últimos do que ao primeiro.

Estudando a seção 27.1 (ondas de matéria), a seção 28.1, fig. 4.5.7 e a seção 28.2, o modelo quântico do átomo, fig. 4.5.8, vemos a importância auferida as aplicações práticas da teoria. Isto é, a ênfase na metodologia de ensino voltada a tecnologia, informação e sociedade (TIC). Ver Box em pêssego, rosa e roxo. Ver na fig. 4.5.8 a importância dada a explicação do funcionamento e aplicações das tecnologias à Laser.

Note-se que o livro texto do programa Glencoe, como muitos livros modernos, complementam, encerram ou motivam o conteúdo da disciplina com atividades experimentais que na maioria das vezes são atividades lúdicas sobre o tema. Ver figuras 4.5.5, 6 e 8. Isso é mais uma das ferramentas (coisas) que fazem parte da metodologia de ensino de uma DT bem realizada e que não possui correspondência com a atividade científica. Vale ressaltar que a construção conceitual deste livro permite usá-lo no nível “honra” e se subtrair o conteúdo matemático do texto que pode ser usado no nível acadêmico.

### Figura 1.11

**Figura 4.5.6** – Mapa Conceitual (MC-6) da seção 27.1 – Ondas de Matéria - do livro do programa “Glencoe Science – Physics, Principles and Problems”. (Glencoe)

Complementando a análise, ou fazendo a ultima demonstração da aplicabilidade das ideias da teoria da cognição científica e que a DT dos livros textos para o ensino médio ocorre dos textos para o ciclo básico universitário (epistemosfera), temos que em países onde não há número suficiente de vagas nas universidades para todos os candidatos, temos o fenômeno da criação dos cursinhos preparatórios e a adaptação dos textos escritos para o ensino médio com a finalidade principal de se preparar os estudantes para as provas classificatórias para admissão nas universidades. Ao contrário de livros textos como o de Glencoe, tem-se uma classe de livros escritos com uma estrutura mais ou menos padrão que seguem a estrutura dos livros universitários da década de 70. Essa estrutura é mais ou menos assim: Começa com uma introdução histórica do tema, seguida pela teoria com exemplos ilustrativos simples. Alguns apresentam aplicações inseridas em boxes e termina com questões e exercícios para o vestibular.

### **Figura 1.12**

**Figura 4.5.7** – Mapa Conceitual (MC-7) do capítulo 28 – O Átomo - do livro do programa “Glencoe Science – Physics, Principles and Problems”. (Glencoe)

### **Figura 1.13**

**Figura 4.5.8** – Mapa Conceitual (MC-8) da seção 28.2 – O Modelo Quântico do Átomo - do livro do programa “Glencoe Science – Physics, Principles and Problems”. (Glencoe)

## **4.6 - REGRAS PARA ELABORAÇÃO DOS MECC COMO UMA LINGUAGEM ALGORÍTMICA.**

Um dos objetivos deste livro é demonstrar através do estudo da transposição didática dos artigos de Albert Einstein (1905) e de Max Planck (1901) aos livros textos o poder de síntese e análise do mapeamento conceitual na sua forma generalizada como MECC utilizando-o como fosse uma linguagem algorítmica.

Da mesma forma que em um fluxograma dedicado ao algoritmo computacional que possui símbolos específicos que definem operações ou ações específicas, criados com o objetivo de facilitar e padronizar a sua leitura, tem-se que se pode criar com o mesmo objetivo símbolos ou cores específicas para um determinado mapeamento de conceitos. Como demonstrado por Autor (2017a, 2017b), este é o caso de MECC elaborados para descrever a construção conceitual com que um livro, um tópico de livro, um dado campo do conhecimento ou uma teoria científica.



No caso da exposição didática de teorias científicas, denominadas aqui de conhecimento científico, têm-se que estas são em geral constituídas de a) modelos explicativos; b) o cerne da teoria; c) os conceitos chaves; d) a metodologia; e) fatos experimentais e d) as aplicações da teoria. Estamos interessados em determinar como estes conceitos ou nós ou links são inseridos, suprimidos, resumidos e trançados para tornar cada texto um todo coerente.

### **Figura 1.14**

**Fig.4.6.1** – Figura com estrutura simbólica das partes que constituem um MECC para a teoria do conhecimento científico.

Assim, vamos usar boxes em verde para identificar os modelos. Boxes em azul para identificar leis empíricas ou as conclusões ou resultados. Em roxo a teoria. Poremos em boxes amarelos os fatos experimentais que redundaram na teoria. Em verde azulado o Título. Em azul claro todo material de suporte, como equações, deduções, etc. Finalmente, colocar-se-á na cor coral as generalizações ou universalizações da teoria. No caso a seguir não teremos aplicações da teoria.

Assim, o CM construído para analisar como ocorre a DT do conhecimento deve ser construído sob algumas regras. Neste a estrutura conceitual descrita acima deve ser muito clara. Como um algoritmo este deve ser criado com a finalidade de descrever a estrutura do conhecimento. Portanto, o construtor de MECC deve ser treinado em dissecar o conhecimento em suas partes fundamentais.

## **4.7 – Mapas das Estruturas do Conhecimento Científico, Transposição Didática DT-CHIM dos Modelos Científicos.**

Como dito acima, as teorias científicas são construídas a partir de modelos científicos, hipóteses e teoremas que são propostos para explicar um determinado conjunto de eventos. Estas explicações são estruturadas em torno de conceitos, nós ou links (Latour, 1999), que nos permitem compreender a atividade científica (Izquierdo de 2003).

Assim, sendo MECC diagrama de significado, indicando relações hierárquicas entre conceitos ou entre as palavras que representam conceitos, este é a ferramenta ideal para mapear como esses nós ou links são preparados e organizados de forma a criar um conjunto coerente e que faça sentido para um determinado nível de escolaridade. Isto é, para estudar o modo como o conhecimento produzido para um determinado nível de escolaridade é transcrito para o outro.

A seguir vamos mostrar que no caso em que a teoria original foi construída em uma época de revolução científica (Kuhn, 1998), que a teoria precisa ser consolidada no

novo paradigma antes de sofrer uma DT para o ensino médio. Que seus modelos explicativos originais devem ser adaptados ou reescritos neste novo paradigma. (De Mello, 2016b, 2016c)

Por motivos de clareza vamos ilustrar essa metodologia fazendo o estudo de como a teoria da radiação de corpo negro (RCN) proposta por Max Planck em seu artigo original (1901) foi transposta aos livros textos. Devido às dificuldades conceituais deste artigo inverteremos a ordem de apresentação deste estudo. Em vez de apresentar em primeiro lugar a teoria original vamos começar apresentando como essa teoria é apresentada em livros textos para formar físicos (Eisberg), depois como esta é ensinada em livros textos escritos para o nível básico universitário e finalmente apresentaremos a teoria original. Para efeito de ilustração faremos um estudo comparativo da teoria da radiação de corpo negro (RCN) como exposta no livro texto Jewett & Sears (2010) usando um MECC sem código de cores com um MECC<sup>8</sup>. Finalmente, usaremos essa metodologia para se efetuar o estudo da transposição didática do 2º artigo de A. Einstein (1905).

#### **4.7.1 - A Teoria da Quantização de Max Planck**

##### **4.7.1.1 - FÍSICA QUÂNTICA – EISBERG (1974)**

Antes de analisarmos o artigo de Max Planck (1901) vejamos sob a “luz” da Física Moderna como se ensina atualmente a teoria da radiação do corpo negro e a consequente quantização da energia da cavidade. Isto é, como a teoria da RCN está transposta para o paradigma da Mecânica Quântica. Usaremos o texto do livro do Eiseberg (1974) - Física Moderna - como referência neste estudo. Como este é um livro voltado para formação de cientista e em particular para trabalhar em Física Nuclear e de Partículas, ele descreve em minúcia os experimentos cruciais e a matemática envolvida por trás dessa teoria.

#### **Figura 1.15**

**Figura 4.7.1** – MECC do Tópico Radiação de Corpo Negro do livro texto Eisberg & Resnick.

Tem-se na Figura 4.7.1 seu MECC para nos guiar na análise de sua construção conceitual. Em seu texto ele introduz a Física Moderna através da teoria da radiação de corpo negro. Assim, ele desenvolve em algum detalhe seu contexto histórico. Em seguida ele define o fenômeno físico e o que se entende por radiação espectral. Depois ele define um “corpo negro” como um corpo que emite e absorve toda radiação que incide sobre ele. Primeira linha do MECC.

---

<sup>8</sup> Daqui em diante MECC significa MECC elaborado na estrutura algorítmica.

Em seguida ele expõe as leis empíricas (Lei de Stefan e a lei do deslocamento de Wien) criadas na tentativa de se descrever o fenômeno. Como a teoria de Planck é construída a partir da lei de Rayleigh-Jeans ele começa expondo essa lei e na sequência deduz a lei de Planck. Toda a teoria é construída sobre o modelo científico de que na cavidade há osciladores, átomos ou moléculas, que emitem e absorvem a radiação. Veja os blocos em verde. Assim, só temos que contar o número destas radiações que possuem nós nas paredes da cavidade. Segundo esse modelo basta usar a lei da equipartição da energia para se obter uma expressão da intensidade da radiação em função da temperatura. Assim temos duas possibilidades: a) Se supusermos que a radiação na cavidade esteja distribuída continuamente obtemos a lei de Rayleigh-Jeans, que está em acordo com o paradigma da Física Clássica (Espectro contínuo da radiação). b) Se supusermos que a energia esteja distribuída discretamente em pacotes de  $h.f$  ( $f$  = frequência e  $h$  = constante de Planck) obtemos a teoria de Planck. O capítulo é finalizado com algumas aplicações dessa teoria. Que está em acordo com o paradigma da Física Quântica. Ver blocos na vertical no canto inferior direito do MECC. E termina com a generalização da teoria, ultima linha do MECC (Box em roxo).

Como dissemos na seção 4.2.1, na definição de radiação de corpo negro temos a mesma concepção pedagógica do que seja formar cientistas ou raciocínio científico: Definição de Radiação Térmica → Dados experimentais → leis empíricas → Generalização (Teoria de Planck) → aplicações.

#### 4.7.1.2 - Texto do livro Jewett & Sears (2010)

Com o intuito de demonstrarmos as potencialidades e o poder de explicação e síntese do MECC construído como fosse uma linguagem algorítmica, vamos apresentar o MECC elaborado sem uso de cores especiais, que denotaremos de MECC limpo, da teoria da RCN a partir do texto do livro Jewett & Sears (2010), figura 4.7.2. Escolhemos este livro texto por este ser voltado à formação de engenheiros em geral e apresentar a teoria da RCN em detalhes. O MECC limpo do livro texto dos autores Jewett & Sears nos fornece um resumo esquemático, visual e ordenado das ideias, conceitos e tudo mais que compõe seu artigo. Mas, se o leitor não souber previamente que este é composto de teoria, modelos, etc. há uma grande possibilidade que passe despercebido algum destes itens que compõe o conhecimento científico, e que o leitor não compreenda em toda profundidade seu conteúdo. Ver figura 4.7.2.

Por outro lado, o MECC também nos fornece um resumo esquemático, visual e ordenado das ideias, conceitos e tudo mais que compõe o artigo. Assim, em uma primeira leitura, além de uma visão geral de conteúdo do texto as cores permitem e chamam a atenção do leitor para suas partes constituintes. Por exemplo, ao analisarmos o MECC (figura 8) vemos claramente os boxes amarelos (fatos experimentais) espalhados e concatenados com os boxes azuis (leis empíricas) através do MECC e na ultima linha como a hipótese de Planck (novo paradigma) está inserida na teoria. Apesar do texto dar maior ênfase dada à explicação dos fatos experimentais e as leis empíricas que redundaram na Lei de Planck, pode-se notar que este texto foi elaborado na mesma

estrutura do artigo de Planck, isto é: Fatos e leis experimentais → modelo explicativo → teoria → generalização. Vemos pelo grau de elaboração da apresentação da teoria da RCN que este livro é realmente destinado a formar cientistas em geral.

Figura 1.16

**Figura 4.7.2** – MECC limpo do texto da Teoria da RCN do livro Jewett-Sears.

Vejamos isto em detalhes. Depois de uma breve introdução eles definem o fenômeno físico da radiação térmica. Ver as duas primeiras linhas da figura 4.7.2 (boxes em azul claro). Como dissemos anteriormente, a estrutura conceitual deste livro está baseada na óptica. Assim, tem-se que o tema espectro da radiação é fundamental para as aplicações em óptica. Eles usam o modelo científico de que na cavidade há osciladores, cargas dentro das moléculas, que emitem e absorvem a radiação para explicar o fenômeno da radiação térmica. Ver boxes em verde. Na sequência eles definem um “corpo negro” como um corpo que emitisse e absorvesse toda radiação que o atinge.

Em seguida ele expõe as leis empíricas criadas na tentativa de se descrever o fenômeno e segue o modelo do Eisberg. Ver boxes em azul nas linhas 3, 5 e 6 no seu MECC na fig.4.7.3. Eles iniciam o capítulo pela Lei de Stefan e em seguida expõem a Lei do deslocamento de Wien e comentam que o domínio de validade destas leis é limitado, mas que ambas se completam. Para introduzir a necessidade da Lei de Planck ele discute que a teoria clássica, ou seja, a teoria de Rayleigh-Jeans, baseada no EM de Maxwell, prevê que a intensidade da radiação vai para o infinito para pequenas frequências. Essa discordância é denominada de “catástrofe do ultravioleta”.

Figura 1.17

**Figura 4.7.3** - The MSSK of BBR theory from the text of Jewett & Sears textbook (2010).

Como no texto do Eisberg, toda a teoria é construída sobre o modelo científico de que na cavidade há osciladores, átomos ou moléculas, que emitem e absorvem a radiação. Ver Box em verde. Assim, só temos que contar o número destas radiações que possuem nós nas paredes da cavidade. Usando a lei da equipartição da energia se obtêm uma expressão da intensidade da radiação em função da temperatura. Se supusermos que a radiação na cavidade esteja distribuída continuamente obtemos a lei de Rayleigh-Jeans. Box em roxo.

#### 4.7.1.3 – Artigo Original de Max Planck (1901)

Para efeito de comparação vejamos o artigo original do Max Planck sobre a teoria da radiação do corpo negro sintetizado na figura 4.7.4. Ao analisarmos o artigo

original de Planck (1901) vemos claramente a estrutura e o brilhantismo de seu raciocínio. Isto é: a) Definição de RCN e apresentação dos fatos experimentais; b) seguida por uma Lei empírica, box em roxo; c) tentativa de escrever a teoria em princípios universais, box em pêssego; d) modelo no velho paradigma, boxes em verde; e) Dedução da Lei universal, boxes em azul. Mesmo para um leitor não muito atento ou que não saiba a diferença entre modelo e teoria física salta aos olhos do leitor o código de cores que discrimina estes conceitos<sup>9</sup>.

Agora vejamos como Max Planck (1901) construiu sua teoria. Primeiramente, precisamos nos recordar que em 1901 tínhamos a Mecânica Clássica e o Eletromagnetismo de Maxwell como ciências maduras. Assim, em 1901 só se tinha leis empíricas e uma teoria “clássica”, ou seja, forjada dentro do paradigma vigente para explicar o espectro da radiação de corpo negro. Esta teoria era a lei de Rayleigh-Jeans. Para que sua teoria fosse aceita pela comunidade científica ela deveria ser construída usando conceitos científicos aceitos por esta. Estes são: Entropia, energia interna, temperatura e o modelo de moléculas como osciladores harmônicos.

Figura 1.18

**Figura 4.7.4** – Mapa Conceitual do artigo original de Max Planck (1901)

Assim, ele começa expondo os fatos experimentais e a tentativa de Wien e sua de encontrar uma lei universal que descreva o comportamento do espectro da radiação de corpo negro. Ver as duas primeiras linhas de seu MECC na fig.4.7.4. Aparentemente ele não conhecia a lei de Rayleigh-Jeans. Em seguida ele argumenta que para substituir o argumento errôneo na dedução da Lei de Wien ele precisa encontrar a dependência universal entre a entropia  $S$  e a energia interna do sistema  $U$ . Assim, ele afirma que a distribuição das energias no espectro normal está completamente determinada quando se calcula a entropia  $S$  da radiação de um ressonador vibrante, monocromático como função de sua energia de vibração  $U$ , que é a peça central do seu modelo. Capítulo 1.

Para se encontrar a expressão matemática de sua Lei Universal ele usará a teoria cinética dos gases de Boltzmann para achar uma expressão única para  $S$  (capítulo 1 do artigo, ver MECC). Isto é, ele precisava de um modelo de átomos ou moléculas como partículas oscilando dentro da cavidade de corpo negro. Cabe notar, que em 1901 a teoria de Boltzmann citada acima não era plenamente aceita, sendo alvo de severas críticas por parte do filósofo da ciência Ernest Mach e outros (Videira apud Mello, 2015b). A consolidação desta teoria só viria a ocorrer em 1905 através do 2<sup>and</sup> paper de Albert Einstein (Mello, 2015b).

Ao contrário do que é dito nos livros textos, ele introduz a quantização da energia na hipótese 3 do capítulo 1 quando ele reinterpreta o significado da função entropia  $S$ . No capítulo 2, através da Lei de Wien, ele obtém as expressões universais entre a temperatura  $T$  e a densidade de energia  $u$  e depois entre  $S$  e  $T$ . Nesse momento ele usa a condição  $E = h.f$  no cálculo de  $S$  como função da energia total  $U$ . Deste modo,

<sup>9</sup> Fizemos questão de colocar conceitos na forma de fórmulas para reforçar o caráter de teoria Física.

ele obtém a expressão matemática para a distribuição de energia do espectro da RCN, conhecida como a equação de Planck para a RCN. Outro fato importante é que apesar de a constante de Planck ser uma constante universal ela é derivada da constante de Boltzmann,  $h = k \times 4,866 \times 10^{-11} \text{ J/k}$ .

Vemos, assim, que a transposição de paradigma feita pela comunidade científica se resume basicamente em substituir o modelo de se encontrar uma função universal para a entropia  $S$  da radiação de uma vibração ressonante, monocromático como função de sua energia de vibração  $U$ , pela obtenção da energia total na cavidade através da simples contagem do número de ondas EM dentro da cavidade do CN, e supondo que a energia seja quantizada. Vemos neste caso que o papel do modelo científico é o de fornecer suporte à teoria e está fundamentado nos dados experimentais. Mas, que pode ser retirado de sua explicação, como veremos adiante.

Vejam outras propostas de apresentação desta mesma teoria. Em muitos livros textos assim como ao ministrar aulas no curso de Mecânica Quântica a Teoria da Quantização de Max Planck é apresentada, sofrendo uma DT, como sendo simplesmente uma hipótese ad-hoc feita por Max Planck (1901) para explicar o espectro de radiação de corpo negro (RCN). Não há a exposição de modelos explicativos e nem de fatos experimentais que redundaram na teoria<sup>10</sup>. Por exemplo, temos o livro Fundamentals of Physics (Halliday, 1997). Ou seja, eles simplesmente apresentam a constante de Planck e a equação

$$E = h \cdot \nu$$

Vejam a seguir três exemplos de como esta teoria é exposta em livros textos para o ciclo básico Universitário. Os dois primeiros textos dos autores Jewett e Serway seguem a mesma estrutura do livro do Eisberg e Resnick. Como pode ser visto nos seus MECC colocado na fig. 4 e 5, eles introduzem a Física Moderna através desta teoria, como ocorreu historicamente. Já o terceiro texto dos autores Young & Freedman (2009) segue uma linha de raciocínio alternativa.

#### 4.7.1.4 - Princípios de Física (vol.4) - Serway & Jewett (2005)

Já este outro livro, escrito pelos mesmos autores, é um livro escrito para o curso básico de ciências em geral, mas que pode ser usado nos cursos de engenharia. Ele possui a mesma estrutura do livro anterior, mas seu texto é mais sucinto. Como pode ser visto no seu MECC, fig.4.7.5, eles omitem a explicação do fenômeno físico da radiação térmica. Depois de uma breve introdução eles definem o fenômeno físico e o que se entende por radiação espectral. Depois ele define um “corpo negro” como um corpo que emite e absorve toda radiação que o atinge. Boxes em amarelo nas duas primeiras linhas.

Figura 1.19

<sup>10</sup> Devido à tradição usamos o nome de Teoria para designar todo este corpo do conhecimento. Quando for o caso usaremos a palavra conhecimento como definido por Autor (2016d).

**Figura 4.7.5** – Mapa Conceitual do Tópico Radiação de Corpo Negro do livro texto Serway & Jewett.

Em seguida ele expõe as leis empíricas criadas na tentativa de se descrever o fenômeno. Boxes em azul. Eles iniciam pela Lei de Stefan e em seguida pela Lei do deslocamento de Wien e comentando que o domínio de validade delas é limitado, mas que ambas se completam. Para introduzir a necessidade da Lei de Planck ele discute que a teoria clássica, baseada no EM de Maxwell, prevê que a intensidade da radiação vai para o infinito para pequenas frequências. Essa discordância é denominada de “catástrofe do ultravioleta”. Assim, eles motivam a teoria de Planck informando da necessidade se ter uma teoria que concordasse com os dados experimentais para todos os comprimentos de onda e na sequência formulam a lei de Planck. Eles usam o modelo científico de que há nas paredes da cavidade osciladores ou partículas carregadas que emitem e absorvem a radiação. Box em verde na ultima linha.

Eles resumem a teoria dizendo que Planck fez duas suposições audaciosas: i) Que a energia esteja distribuída discretamente em pacotes de  $h.f$  ( $f$  = frequência e  $h$  = constante de Planck); ii) Os osciladores emitem ou absorvem energia em unidades discretas. Como eles já tinham explicado o espectro do átomo de hidrogênio no capítulo 11, eles usam a teoria de Planck para completar a explicação deste modelo. O capítulo é finalizado com alguns exercícios.

Vemos aqui que não se faz nenhuma observação sobre o modelo usado por Planck e que a DT é feita inteiramente sobre o paradigma da Mecânica Quântica.

#### **4.7.1.5 - “Física IV” dos autores Young & Freedman (2009)**

Como outro exemplo de exposição didática do tema escolheu-se o texto do livro “Física IV” dos autores Young & Freedman (2009), pois este apresenta o tema de forma detalhada e este não expõe a Física Moderna respeitando a ordem cronológica das descobertas científicas. Apesar deste usar o mesmo modelo científico que o Eisberg (paradigma quântico), este usa outra construção metodológica no seu texto. Eles abandonam a estrutura: Definição → fatos experimentais → modelo → teoria → aplicações.

Como se pode ver no seu índice o tópico RCN é tratado na seção “Espectro Contínuo” que se encontra dentro do capítulo 38 denominado “Fótons, Elétrons e Átomos”. Outro fato interessante a se destacar é de que ele divide o capítulo em duas partes: espectro discreto e contínuo. Ver de Mello (2015a). Assim, ele introduz a quantização da energia através do efeito fotoelétrico e não através da RCN, seguindo a tendência pedagógica atual de se apresentar a quantização da energia dentro do contexto de que matéria e energia são duas faces da mesma moeda. Eles introduzem a teoria de Planck quando eles explicam o espectro de raio X.

Este começa expondo o fato de que todo corpo aquecido emite radiação EM. Em seguida ele constrói o modelo de que a radiação se origina de partículas carregadas

aceleradas que estão próximas à superfície do corpo que dão origem ao espectro EM contínuo. Ver MECC na figura 4.7.6. Depois ele define RCN e propõe o problema de se entender esta radiação. Ele segue expondo as tentativas de se formular leis para este fenômeno. E finaliza construindo a lei de Planck através do modelo de ressonadores na cavidade e do postulado da quantização da radiação na cavidade.

Assim, comparando o texto do livro “Young & Freedmann” com o texto do livro “Eisberg & Resnick” e com o artigo de Planck fica bem claro que a transposição didática da teoria da RCN se faz a partir dos textos escritos para o nível profissionalizante do curso de Física ou dos escritos para a pós-graduação e não dos artigos originais. Se olharmos alguns livros textos como o “Física” do Halliday (1997) pode se ver que este introduz a quantização da energia através da teoria do efeito fotoelétrico e nem aborda a teoria da RCN. Ver Mello (2015a). Atualmente somente alguns textos do ciclo básico respeitam a ordem cronológica do desenvolvimento científico.

Figura 1.20

**Figura 4.7.6** – Mapa Conceitual do Tópico Radiação de Corpo Negro do livro texto Young & Freedman.

Comparando os MECC do artigo de Planck e do capítulo do Eisberg, e tendo em mente (segundo a SKT) que o modelo físico é apenas uma construção mental para tornar uma teoria preditiva (Hesse, 1963) se observa que o que é teoria para a quantização da radiação da cavidade do corpo negro, ou seja, aquilo que não muda com a evolução da ciência, é a hipótese de que a energia absorvida ou emitida pelos osciladores da cavidade de CN é quantizada.

#### 4.7.1.6 - “Physics Principles and Problems” do Programa Glencoe (2005)

Analisemos agora um texto didático utilizado no ensino médio americano, o livro “Physics Principles and Problems” do programa Glencoe. Podemos ver em seus CMs, figura 4.7.7, que seu projeto pedagógico se baseia em três pilares: 1) Introdução ao tema através dos problemas experimentais (que conecta a palavra “enigma” em cinza) que afligia os cientistas da época; 2) apresentação da teoria descrevendo uma experiência e não a descrição detalhada do modelo científico; 3) finalização através de aplicações tecnológicas (neste caso não há exemplos de aplicações tecnológicas).

Eles introduzem a quantização da energia na seção “radiação de corpos incandescentes”, sem abordar a RCN. Ver seu MECC na fig.4.7.7. Ele motiva o texto com a questão central na época de Planck que era de se entender a dependência da intensidade e frequência da radiação emitida com a temperatura, que não podia ser explicado pela teoria EM clássica. Ver Box em negrito denominado puzzling. Através do exemplo da variação do espectro de luz de um bulbo incandescente este define a dependência entre a potência total e a quantidade máxima de energia emitida pelo filamento. Eles introduzem a hipótese de quantização da energia através do fato (válido



até hoje) de que somente podemos explicar a forma da curva da intensidade da radiação do CN se supusermos, como Planck, que os átomos emitem radiação somente quando a energia vibracional varia discretamente de múltiplos de  $h \cdot f$ . Note-se que no texto só aparece a teoria de Planck sem mencionar as anteriores, e que este não define explicitamente o modelo físico de átomos vibrando na superfície do metal.

Figura 1.21

**Figura 4.7.7** – Mapa Conceitual do Tópico Radiação de Corpo Negro do livro texto Gleancoe. McGraw-Hill, 2005.

## 5 – Teoria do Conhecimento Científico

O que fizemos acima foi demonstrar que o uso de CM como fosse uma linguagem algorítmica para se realizar o estudo da DT ou da Teoria do Conhecimento (TC) constitui uma metodologia científica. Que essa metodologia, junto com a teoria da DT-CHIM, se constitui em uma teoria do conhecimento, que é o objetivo principal deste artigo. Como exemplo de aplicação desta teoria do conhecimento e de sua metodologia apresentaremos a seguir o estudo da transposição didática do 2º artigo de A. Einstein aos livros textos. Ou seja, como através desta DT a teoria do efeito fotoelétrico (EF) se torna um fato pedagógico. Mais detalhes ver De Mello (2016d).

### 5.1 - Artigo de Albert Einstein (1905a) - On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light.

Como dito anteriormente (de Mello, 2015b) a Física Moderna se origina como uma ruptura com o pensamento ou paradigma (no sentido de Kuhn) da Física Clássica e com o EM de Maxwell. Veja as três primeiras linhas de boxes em seu MECC, fig.1. Assim, no seu segundo artigo Einstein (AE) necessita demonstrar que existe uma diferença profunda entre os fenômenos físicos denominados óptica física e óptica geométrica. Que estas duas classes de fenômenos físicos devem ser estudados como eventos físicos regidos por leis muito distintas. No primeiro teríamos que considerar a luz como partículas cujas leis são regidas pelas leis da Mecânica Clássica e o no segundo caso a luz deveria ser considerada como uma onda e regida pelas leis do EM de Maxwell. Mas, ele chama a atenção para o fato de que esses fenômenos da Óptica Física são médias temporais e não medidas instantâneas, de modo que essa distinção aparece apenas quando interagimos com a radiação EM. Deste modo temos uma separação entre duas classes de eventos físicos classificados como óptica física e óptica geométrica.

Dissemos anteriormente que este artigo é uma consequência direta do trabalho de Max Planck ou Herr Planck, como Albert se dirigia a Planck. Assim, Einstein necessita demonstrar que o modelo de Planck (1901) baseado na obtenção de uma expressão para a entropia da radiação na cavidade de um corpo negro é um modelo

universal, isto é, que não é apenas um artifício matemático, e que este pode ser generalizado para qualquer tipo de interação da radiação com a matéria.

Vemos no MECC-1 de seu artigo, Fig.1, que este começa afirmando que há uma diferença fundamental entre a Teoria Cinética dos Gases e o EM de Maxwell. Que estas teorias representam dois modelos físicos muito distintos e irreconciliáveis. Que a energia EM está distribuída descontinuamente no espaço. Em seguida, para justificar esta ‘aparente’ dicotomia ele afirma que os fenômenos da Óptica Física são médias temporais e não medidas instantâneas. Deste modo temos, pela primeira vez, uma separação entre duas classes de eventos físicos classificados como óptica física e óptica geométrica. Com isso ele justifica a construção de um modelo de partículas para explicar os fenômenos físicos denominados de óptica geométrica e que não pode ser aplicado à radiação EM em geral.

Vemos em seguida no MECC-1, fig.1, que como observado pelos teóricos da ‘Teoria Cognitiva da Ciência’ (Nesserssian, 1992), que por similaridade Einstein vai generalizar a teoria de Planck (1901) para gerar um modelo de partículas para explicar os fenômenos da interação da radiação com a matéria. Assim, no 1º capítulo ele começa construindo o modelo para a radiação EM na cavidade de um corpo negro (CN) como sendo produzida pela oscilação de elétrons nas paredes dessa cavidade. Boxes em verde. Usando o modelo da teoria cinética dos gases ele resgata a equação para a densidade da radiação de Planck e mostra que a energia obtida pela soma da densidade de energia para todas as frequências seria infinita. O que implica na inexistência do Ether, 1º Box em azul. Observem que isso é muito importante na construção do modelo de partículas, pois, a existência do Ether implica na existência de um meio material para a propagação das ondas EM. Isto é, implicaria que a Luz ou radiação EM deveria ser uma onda.

Note-se que a inexistência do Ether na história da ciência está associada a teoria da relatividade restrita, principalmente ao experimento de Michelson e Morley, e não ao postulado da dualidade onda-partícula. Isto é, devido ao fato que em geral os grandes ‘avanços’ da Física estão associados a fatos experimentais e não a modelos ou postulados. Talvez seja por esse fato que a importância epistemológica dos modelos físicos na construção das teorias Físicas tenha ficado em segundo plano até agora.

Figura 1.22

**Fig.5.1** – MECC do artigo original “Albert Einstein 2nd paper”

No capítulo 2 ele mostra que a equação obtida por Planck usando a hipótese que a energia está quantizada na cavidade de CN no limite de baixas frequências recai no modelo da radiação EM de Maxwell, ou modelo para o espectro contínuo, ver Box azul na fig.5.1. Como Einstein afirmou em seu outro artigo (1905), uma nova teoria deve explicar a teoria anterior dentro de seu limite de validade.

No capítulo 3 Einstein mostra que a Lei da radiação de CN pode ser obtida diretamente da aplicação do princípio variacional a uma função da entropia da radiação dentro da cavidade, universalizando esse modelo. Ver fig.5.1

No capítulo 4 ele demonstra que a fórmula de Wien é equivalente a um modelo de gás ideal para a radiação, dada pela equação de Boltzmann para a entropia. Deste modo, ele finaliza o modelo.

No capítulo 5 ele prova que a Teoria de Boltzmann é universal, legitimando toda sua construção epistemológica, ver box em coral na fig.5.1. Vemos aqui que neste artigo Einstein não só generaliza as ideias de Planck para a quantização da radiação de CN, mas também universaliza o modelo de Boltzmann. Temos aqui a gênese da Mecânica Estatística. Mas, note-se que ele constroe toda a sua teoria dentro do paradigma da teoria da Mecânica Clássica.

No capítulo 6 ele demonstra que, para baixas densidades de energia, a aplicação da teoria de Boltzmann para a radiação da cavidade de CN implica que a energia EM na cavidade está quantizada. Box em roxo. Que esta energia é dada por

$$E = R\beta v/N$$

onde  $\beta$  é a constante de Boltzmann,  $v$  é a frequência da luz e  $R$  é a constante dos gases ideais, ver fig.1. Essa equação é mais conhecida pela equação  $E = h \cdot v$ , onde  $h$  é a constante de Planck. Só aqui ele generaliza as ideias de Planck para o fóton, mas não a toda mecânica.

Como o próprio Einstein afirmou, uma nova teoria deve explicar fatos experimentais que as antigas não podem explicar. Como dissemos anteriormente Hesse (1966) afirma que modelos científicos permitem que uma teoria seja preditiva. Assim, na seqüência ele vai aplicar seu modelo de partículas para a radiação EM para explicar a Regra de Stokes para o fenômeno de emissão e absorção dos raios fluorescentes, capítulo 7.

No capítulo 8 ele aplica sua teoria para explicar o fenômeno fotoelétrico. Box retangular em amarelo. Para isso ele constrói um modelo para interação da radiação com a matéria, onde ele aplica a sua hipótese da quantização da radiação EM. A partir desse modelo e da conservação da energia ele obtém a dependência linear entre a energia cinética dos elétrons ejetados com a frequência da radiação da luz incidente que explica os dados experimentais obtidos por Lennard. Finalmente, no nono e aplica sua teoria para explicar o fenômeno de ionização dos gases pelos raios ultravioletas. Ver boxes em amarelo na fig.5.1

## 5.2 – Física Quântica – Eisberg e Resnick (1985)

Vejamos abaixo como esta construção epistemológica foi transposta para os livros textos em geral. Usaremos o livro texto ‘Física Quântica’ dos autores Eisberg e Resnick como livro texto padrão confeccionado para o ensino profissionalizante do curso de Física.

Fizemos o MECC da seção que trata da teoria do Efeito Fotoelétrico, fig.5.2. A estrutura dos textos de Física Moderna é mais ou menos assim: a) Apresentam os resultados experimentais e o fato de que estes contradizem as teorias clássicas, boxes em cinza; b) em seguida a teoria, boxes em roxo; c) finalmente as aplicações (boxes em

azul) e quando há as generalizações ou universalizações (boxes em coral). No caso do EF o modelo científico foi desenvolvido na seção anterior, RCN, por isso não aparece no texto.

Podemos ver no seu MECC que ao fazerem a transposição didática da teoria do efeito fotoelétrico os autores afirmam que Einstein generalizou a hipótese de Planck da quantização da energia, mas não dizem nada respeito de ter sido Einstein quem universalizou a teoria de Planck, e que deduziu a expressão da constante de Planck  $h$  em função da constante de Boltzmann e dos gases ideais através da definição de uma função para a entropia. Como em muitos outros exemplos de transposição didática, certas constantes ganham nome e importância própria. Por exemplo, o Módulo de Young. Acreditamos que devido à definição de uma função para a entropia ser desnecessária para a explicação do EF a relação entre a constante de Planck e a de Boltzmann ser omitida em todos os livros textos.

Figura 1.23

**Figura 5.2 – MECC do tópico EF do livro Eisberg & Resnick**

Parte das ideias desenvolvidas por Einstein em seu artigo é usada no desenvolvimento do capítulo sobre radiação do CN, mas sem nenhuma citação a este. Ver referência (de Mello, 2015b). Vemos aqui que não se faz nenhuma citação que este modelo, nem mesmo no capítulo sobre a teoria da radiação de CN implica na inexistência do Ether.

Vemos aqui como a primeira versão deste livro foi escrito no final da década de 60 e começo da década de 70, onde a Mecânica Quântica já era aceita ‘universalmente’ como teoria Física, que todo o desenvolvimento conceitual que Einstein fez para mostrar que para baixas frequências a teoria de Boltzmann aplicada à radiação de CN recai na teoria de Maxwell para a radiação EM foi suprimido do desenvolvimento desta seção e do livro. Ver boxes cinza na fig.5.2. Também, não há nenhuma citação de que foi neste artigo que a teoria de Boltzmann ganhou o caráter de teoria universal, já que nesta época a Mecânica Estatística já tinha o status de teoria e em muitas universidades era considerada uma das cadeiras do curso de Física. Eles comentam brevemente o modelo corpuscular criado por Einstein para explicar o comportamento dual da radiação EM ao citar que ‘Medidas Experimentais são médias temporais que envolvem um número muito grande de fótons’. Omitido no MECC.

Vemos nos primeiros boxes (em azul claro) e em suas conexões no MECC desta seção, fig.5.2, que todo embasamento da teoria para o efeito fotoelétrico de EA está na descrição detalhada dos fatos experimentais obtidos por Lennard e no fato de que o modelo clássico, baseado na teoria EM de Maxwell, não está de acordo com estes fatos. Como os teóricos da Teoria Cognitiva das Ciências afirmam a teoria de AE é um modelo teórico construído para explicar na base da semelhança com os dados experimentais disponíveis para um dado fenômeno físico. Vemos, também, que o livro do Eisberg é um livro escrito para formar cientistas, ou seja, sempre apresenta

primeiramente os fatos experimentais e somente depois a teoria que o explica. Por isso eles antecipam os dados experimentais, ou a dependência linear entre a frequência da luz e o potencial de corte. Primeira linha. (Millikam)

Comparando os MECC do 2º artigo de AE e do capítulo do Eisberg, e tendo em mente (segundo a SKT) que o modelo físico é apenas uma construção mental para tornar uma teoria preditiva (Hesse, 1963) se observa que o que é teoria para o fenômeno do efeito fotoelétrico, ou seja, aquilo que não muda com a evolução da ciência, são as hipóteses: 1) um fóton é absorvido inteiramente e instantaneamente por um único elétron; 2) pela conservação da energia o elétron ejetado com maior energia terá energia cinética igual a diferença entre a energia do fóton absorvido ( $h \cdot \nu$ ) e a função trabalho  $V_0$ . Ou seja, a equação

$$E_k = h \cdot \nu - V_0 \text{ (Joule)}$$

Junto com a 1ª hipótese explicam todos os fatos experimentais, sem a necessidade de nenhum modelo.

Temos aqui os mesmos blocos básicos de construção do conhecimento científico: Fatos e leis experimentais  $\rightarrow$  leis empíricas  $\rightarrow$  modelo explicativo  $\rightarrow$  teoria ( $\rightarrow$  generalização).

### 5.3 – Livros Escritos para o Ciclo Básico

#### 5.3.1 - Princípios de Física dos autores Serway & Jewett (Serway & Jewett, 2006).

Como exemplo de texto de Física Moderna (FM) escrito para curso de exatas em geral e que segue quase a mesma estrutura do Eisberg temos o livro Princípios de Física dos autores Serway & Jewett (Serway & Jewett). Temos na figura 5.3 o seu MECC. Estes apresentam os resultados experimentais e o fato de que estes contradizem as teorias clássicas; primeiros boxes em cinza. Em seguida eles expõem o modelo, boxes em verde. Depois a teoria, boxes em roxo; e finalmente as aplicações (boxes em azul). Vê-se claramente os mesmos blocos de construção do conhecimento.

Figura 1.24

**Figura 5.3** – MECC do tópico EF do livro Serway & Jewett

Comparando os MECC do livro Serway com os do 2º artigo de AE e do livro do Eisberg observa-se que a DT para o EF é feita a partir do texto do Eisberg e não do artigo original de AE. Vemos, também, que a menos da ordem de apresentação de alguns tópicos eles abordam os mesmos conceitos. Basicamente a grande diferença entre eles está na maior ênfase dada pelos autores Eisberg e Resnick a análise e descrição do experimento e dos dados experimentais que levaram à formulação da teoria do EF. Por isso eles antecipam os dados experimentais, ou a dependência linear entre a frequência da luz e o potencial de corte. Eles comentam brevemente o modelo corpuscular criado por Einstein para explicar o comportamento dual da radiação EM ao

citar que ‘Medidas Experimentais são médias temporais que envolvem um número muito grande de fótons’. Omitidos do MECC.

Estes, também, omitem a) o fato de ter sido Einstein quem universalizou a teoria de Planck, b) e que deduziu a expressão da constante de Planck  $h$  em função da constante de Boltzmann, através da definição de uma função para a entropia a partir de um modelo de gases ideais. Nem se faz nenhuma citação que este modelo, nem mesmo no capítulo sobre a teoria da radiação de CN implica na inexistência do Ether. Tampouco cita o desenvolvimento conceitual que Einstein fez para mostrar que para baixas frequências a teoria de Boltzmann aplicada à radiação de CN recai na teoria de Maxwell. Ver fig.3. Também não há nenhuma citação de que foi neste artigo que a teoria de Boltzmann ganhou o caráter de teoria universal.

### 5.3.2 – Física IV; ‘Óptica e Física Moderna’ dos autores Young & Freedman (2008).

O segundo livro escolhido por nós é o dos autores Young e Freedman. Como discutido em outro artigo (Mello) escolhemos este livro por este ter uma estrutura bem diferente do livro do Eisberg. Ver de Mello (2014). Devido às características muito particulares da teoria do Efeito Fotoelétrico este tópico é muito semelhante aos demais textos. Devido ao fato de que este texto pressupõe que os estudantes (leitor) já conheçam o que seja o EF, eles alteraram a ordem de apresentação do modelo com os fatos experimentais. Então, eles iniciam esta seção definindo o que seja EF através do modelo da interação da radiação com a matéria, para depois expor os fatos experimentais. Ver box em verde na fig.5.4. Depois o texto não difere em quase nada do Eisberg. Na sequência eles apresentam os resultados experimentais e o fato de que elas contradizem as teorias clássicas, caixas cinzentas no MECC, fig.5.4. Em seguida, eles expõem a teoria, caixas em roxo, suas aplicações (caixas em azul) e a generalização ou universalização (caixas em coral) que toda a radiação EM é quantizada. Eles finalizam esta seção com a definição relativística do momentum de um fóton devido ao fato deles precisarem desta mais adiante. Eles, como todos os textos para o ciclo básico universitário, fazem as mesmas omissões que os textos acima.

Temos aqui, novamente, os mesmos blocos básicos de construção do conhecimento científico: Fatos e leis experimentais → leis empíricas → modelo explicativo → teoria → generalização. Comparando o artigo de Einstein e os três (3) textos vemos como o MECC facilita a visualização gráfica destes blocos e de como eles foram disposto ao longo do texto.

Figura 1.25

**Figura 3.5.4** – MECC do tópico EF do livro Young & Freedman

## 5.4 – Livro Escrito para o ensino Médio

- Physics Principles and Problems – Glencoe Program (2005).

Vemos novamente que este texto (Glencoe, 2005) tem como metodologia pedagógica a aprendizagem por projeto. Este tópico, como muitos outros, não utiliza nenhum modelo científico explicativo para ilustrar a teoria. Como na seção “Radiação de Corpo Negro”, eles introduzem o tema através de um enigma experimental. Ver Box em cinza, fig.3.5.5:

*When ultraviolet radiation was incident on a negatively charged zinc plate, the plate discharged. When ordinary visible light was incident on the same charged plate, the plate did not discharge. This result was contrary to electromagnetic theory.*

Em seguida eles fazem uma descrição experimental detalhada do EF, ver boxes em azul claro. As características principais do EF que eles salientam são: a) energia potencial de corte e b) emissão instantânea dos elétrons. Ver boxes em amarelo. Fatos experimentais que não podem ser explicados pela teoria EM clássica e que implicam na hipótese de que a luz seja composta de quantas de energia e introduzem o conceito de fóton, ver boxes em roxo na fig.3.5.5.

Observe que eles não expõem o modelo do EF. Verificar ausência de boxes em verde claro. Eles partem diretamente para a teoria. Ver boxes em roxo. Mas, eles chamam a atenção para o fato de que AE generalizou o conceito de quantização da energia de Max Planck para todo tipo de radiação EM. Ver Box em coral.

Depois eles expõem como a teoria do EF de AE explica o fenômeno do potencial de corte, ver primeira linha em roxo do MECC na fig.5.5. Eles completam o capítulo testando a teoria do EF através de algumas de suas aplicações, ver boxes em azul em seu MECC. Eles finalizam a teoria definindo a energia potencial de corte através do experimento de Millikam, ver MECC na fig.3.5.5.

Assim, este livro é uma DT dos livros escritos para o ensino superior e não dos artigos científicos, como os demais livros escritos para o ensino médio. Estes, também, omitem o fato de ter sido Einstein quem universalizou a teoria de Planck. Que deduziu a expressão da constante de Planck  $h$  em função da constante de Boltzmann através da definição de uma função para a entropia para os gases ideais. Nem se faz nenhuma citação que este modelo implica na inexistência do Ether, nem mesmo no capítulo sobre a teoria da radiação de CN. Tampouco cita o desenvolvimento conceitual que Einstein fez para mostrar que para baixas frequências a teoria de Boltzmann aplicada à radiação de CN recai na teoria de Maxwell para a radiação EM. Ver fig.5. Também não há nenhuma citação de que foi neste artigo que a teoria de Boltzmann ganhou o caráter de teoria universal.

Note-se que o modelo físico para o EF está diluído no texto, que nos indica que os autores dão muito mais importância ao fenômeno físico do que ao seu modelo explicativo, confirmando que o modelo físico faz mais parte da explicação da teoria como preconiza a SKT.

Figura 1.26

**Fig.3.5.5 – MECC do tópico EF do livro Glencoe**

## **CAPÍTULO 9 - RESULTADOS E CONCLUSÕES**

Como dito anteriormente, a simples análise dos conteúdos dos tópicos de Física Moderna não nos permite visualizar a construção conceitual que o autor ou autores usaram para escrever seu texto. Ela só permite verificar a sequência como os temas são introduzidos. Mas, através da confecção, seguindo critérios bem determinados, e posterior análise dos MC de um determinado campo do conhecimento, podemos visualizar como os temas e os conceitos foram introduzidos, como foram particionados ao longo do texto, e como o autor ou autores os utilizaram para fundamentar ou somente introduzir outros conceitos.

Sem as palavras chaves ou conceitos chaves de ligação não poderíamos perceber como os conceitos ora são antecipados, ora postergados ora particionados dentro de cada seção de modo a embasar os conteúdos a serem ensinados. Se tivéssemos somente o fluxograma do texto não teríamos as ligações entre conceitos e não notaríamos como estes se interligam.

A importância da utilização de MC na análise do livro didático não fica muito evidente através da análise dos textos do Eisberg (1985) e do Serway (2010). Essa importância é ressaltada quando fazemos a análise comparativa com o livro do Sears (2006). Vemos no seu MECC como os conceitos chaves foram introduzidos, antecipados e muitas vezes particionado. Após o estudo de seu MC observamos as dificuldades que os autores encontraram ao escrever um texto original e que estivesse construído sob o ponto de vista da óptica.

Ao se analisar um MC construído para um texto de tópico de ‘Física Moderna’ para o ensino médio vemos como este conteúdo foi se diluindo e se adaptando até chegar neste nível. Como os autores ou agentes determinantes de como o ‘Saber Sábio’ é transposto para o ‘Saber a ser Ensinado’ o reformulam para serem ministrados em sala de aula. Como ‘as coisas da física’ vão sendo geradas. Vemos, também, que quando se usa as TICS no projeto pedagógico do ensino a DT é feita muito mais em cima dos textos de Física para a pós-graduação e do nível profissionalizante do que dos artigos científicos.

O seu uso em sala de aula de um curso de pós-graduação em ensino de física e ciências se torna uma ferramenta poderosa na determinação de como a transposição didática ocorre. Deixa claro como os autores de livros textos vão introduzindo e ressaltando certos conceitos a serem cobrados e avaliados e como outros conceitos vão sendo rejeitados ou filtrados. Este é uma ferramenta muito poderosa na demonstração que a ciência produzida na academia é muito diferente da ciência desenvolvida para se ensinar (SKT).



Mostrou-se aqui que MC é a ferramenta natural e mais eficiente para se fazer a análise de como os conceitos, proposições, teoremas e modelos explicativos são usados para construir uma certa teoria, assim como para se fazer o estudo de como esta é transcrita de forma didática. Através da análise de como as teorias da radiação de corpo negro de Max Planck e do EF desenvolvida por AE em seu 2º artigo foi transposta para os livros didáticos, mostrou-se que MECC é uma ferramenta, uma linguagem algorítmica, muito eficiente e sucinta de se apresentar e descrever como uma estrutura conceitual original vai sendo transposta didaticamente aos diferentes tipos de livros textos. Mostrou-se que para um especialista na teoria cognitiva da ciência o simples estudo do MC, elaborado para uma dada teoria e feito dentro de certas regras rígidas, para entender sua estrutura conceitual. Através dos MC, elaborados para cada texto sobre o EF e a RCN, foi possível observar como cada autor ordenou e concatenou os conceitos (nós ou links) de modo a formar um todo coerente.

Através deste estudo foi possível demonstrar que apresentamos aos estudantes, fazendo uma DT, alguns fatos reconstruídos, modelos teóricos, argumentações e proposições que foram selecionados previamente. Mostramos novamente (de Mello, 2015) que na grande maioria das vezes os modelos teóricos, ou modelos científicos, são adaptados e/ou modificados para o nível de compreensão dos estudantes. E com o passar do tempo esses modelos vão se perpetuando de tal modo que os professores ensinam a DT da ciência como esta fosse a única verdade.

Mostramos novamente que a DT não ocorre inteiramente dentro da sala de aula ou da “sala do professor”. Através da confecção de MC para textos escritos para se formar cientistas, para formar engenheiros e outros escritos com metodologias pedagógicas bem definidas (Glencoe), observamos que a DT para o EF como para a RCN é influenciada fortemente por este fato. Ou seja, que atualmente a DT de um dado conhecimento científico é realizada na esfera universitária ou epistemosfera e não diretamente para o ensino médio. E que esta é realizada dentro de normas estabelecidas pela metodologia de ensino empregada.

Para fins didáticos tem-se que os modelos científicos não são mais a peça central na elaboração de uma dada teoria. Observa-se aqui que nos textos do Eisberg e do Jewett os fatos experimentais se sobressaem ao modelo. Já no texto do Sears é dada maior importância ao modelo da interação da radiação com a matéria que aos fatos experimentais. No texto do Glencoe é dada maior importância ao problema de se entender os fatos experimentais, o problema ou projeto, em segundo lugar às suas aplicações tecnológicas e se explica rapidamente o modelo da interação da radiação com a matéria.

Demonstra-se aqui a tese de Latour (1999): o que a ciência escolar e a ciência dos cientistas têm em comum é que suas idéias teóricas, seus conceitos, foram presos e selados dentro de caixas-pretas após ter ganho importância e depois de se tornarem mais "sólidos" e "fortes", ou seja, depois de "consolidados". Izquierdo (2003) propõe, como demonstrou-se aqui para o caso do EF e em de Mello (2015b) para a teoria da RCN, que tal processo de embalagem deixa de fora detalhes, explicações e razões que antes eram

necessárias para convencer os outros do seu "poder original de explicar" (tanto a científica, bem como a nível didático).

Izquierdo -Aymerich e Aduriz-Bravo (2003) afirmam que o que sabemos sobre o modelo como um conceito didático, como e onde ele aparece no currículo, por que e como ele se transforma, etc, também é limitado, porque nós realmente não sabemos muito sobre a sua "história" como um elemento didático tanto na química como no ensino de Física. Mas, se limitarmos o estudo à estrutura conceitual de uma determinada teoria, é possível criar regras, usando MC (de Mello, 2015), para verificar como estes foram sendo transcritos, sofrendo uma DT, até adquirirem a forma de apresentação do nível profissionalizante. Deste para o ciclo básico e deste para o ensino médio.

Além disso, é possível que os professores pensem: a) que uma dada teoria ( por exemplo o EF) tenha estado sempre presentes nos livros didáticos; b) que refletem não só o verdadeiro conhecimento científico, mas como este “é” realmente feito. Isto resulta que eles acabam dando mais peso ao valor da verdade do modelo (Izquierdo -Aymerich e Aduriz-Bravo, 2003). Devido a sua relativa facilidade de sofrer uma DT, como por exemplo: capacidade de gerar problemas e/ou simplicidade matemática, faz com que certos conceitos, como modelos atômicos, EF, RCN, sejam tão poderosos dentro da ciência da narrativa escolar (Brockington, 2005).

Assim, atualmente, para se fazer uma transposição didática o profissional no ensino de ciências deve ter em mente quais são os modelos científicos envolvidos na construção conceitual de uma determinada teoria, sua relevância na teoria e os impactos sobre estas se este modelo for modificado, simplificado e/ou suprimido. Ou seja, um especialista em DT deve ser capaz de definir as mudanças que o modelo científico deve sofrer, e quais modelos metafóricos pode dispor, de modo a fazer uma DT adequada para um determinado nível de compreensão, sem sacrificar a veracidade dos conceitos envolvidos. E para garantir uma aprendizagem significativa (Ausubel, 1977) o educador deve ter em mente quais seriam as concepções alternativas dos educandos e como fazer a ponte para as concepções científicas.

Finalmente, vemos acima que MECC é a ferramenta ideal para se efetuar o estudo de como o conhecimento científico é transposto a todas as esferas do conhecimento. Este fornece uma metodologia científica muito eficiente para se fazer o estudo da transposição do conhecimento.

Procuramos mostrar aqui as vantagens de se criar regras de construção com a utilização de código de cores para se elaborar mapas conceituais. A partir destas regras munimos os CM com uma estrutura algorítmica de modo que os denominamos de MECC no texto para diferenciar dos CM elaborados sem a utilização desta estrutura.

Com a utilização de MECC conseguimos demonstrar (de Mello, 2016b, 2016c, 2016d) como o conhecimento produzido nas esferas acadêmicas vai sofrendo uma DT, ou seja, vão se transformando e diluindo até chegar às esferas escolares. Usando CM como ferramenta de análise do conhecimento diminuimos o grau de subjetividade desta análise e tornamos mais fácil de identificar, classificar e ordenar os elementos constituintes de um dado conhecimento ou teoria, como estamos acostumados denominar.

A teoria da DT-CHIM fornece diretrizes e regras gerais para se determinar a razão de determinado conhecimento científico se perpetuar e se atualizar nas esferas escolares. Ela, também, fornece regras de como classificar a DT e de como esta deva ser efetuada.

O MECC junto com a teoria da DT-CHIM é uma ferramenta muito eficiente de se classificar, analisar e sumarizar como o conhecimento científico é elaborado, formulado e transcrito as esferas de ensino. Ou seja, de classificar os fatos pedagógicos.

Obtemos com a DT-CHIM junto com a metodologia científica usando MECC um meio muito efetivo de se efetuar o estudo de como o Saber Sábio se transforma nos meios científicos. Que estes formam uma ciência do conhecimento.

O CM elaborado segundo as regras algorítmicas nos fornece um resumo esquemático, visual e ordenado das ideias, conceitos e tudo mais que compõe um artigo e/ou livro. As cores chamam a atenção do leitor para suas partes constituintes, de modo que em uma primeira leitura além da uma visão geral do conteúdo do texto as cores permitem e chamam a atenção do leitor para suas partes constituintes. O que seria mais difícil se tivéssemos somente o CM sem o código de cores. Se o leitor não souber previamente que um dado conhecimento é composto de teoria, modelos, etc. há uma grande possibilidade que passe despercebido algum destes itens, e que o leitor não compreenda em toda profundidade seu conteúdo.

O CM na forma de algoritmo (MECC) permite verificar qual sequência o autor inseriu, organizou e concatenou as partes componentes de sua teoria (conhecimento). Além do mais, a análise do MECC feito para um determinado livro texto permite visualizar como estes conceitos ou nós ou links são inseridos, suprimidos, resumidos e trançados para tornar cada texto um todo coerente (de Mello, 2016a, 2016b e 2016c). Usado em uma análise comparativa este permite verificar (de Mello, 2016b, 2016c e 2016d): a) como os modelos explicativos são adaptados, simplificados e suprimidos; b) como os conteúdos do conhecimento são transposto para uma metodologia de ensino de ciências, sofrendo uma transposição didática; c) quando for o caso, como o conhecimento é transposto e consolidado em um novo paradigma científico.

Como todo campo de conhecimento científico, principalmente das humanas, este é muito dinâmico e desafiador. De modo que a DT-CHIM apresentada acima deve ser considerada dentro de sua atualidade científica e pedagógica. Elas estão baseadas em anos de trabalho dos pesquisadores como Chevallard, Izquierdo, Pietrocolla, Johnson-Laird, Nersessian e outros. Apesar de De Mello ter conseguido, através da análise dos livros didáticos usando como ferramenta mapeamento conceitual, provar algumas das ideias aqui propostas, pode ocorrer que seja necessário incluir, substituir ou reformular algumas destas. Conclui-se, assim, que o estudo de fatos pedagógicos usando a DT-CHIM junto com a metodologia da ciência MECC constitui-se em uma teoria do conhecimento.

## **Maps of Structure of Scientific Knowledge, the Didactic Transposition Theory of Chevallard, Izquierdo and de Mello (CHIM) and the Theory of Scientific Knowledge.**

Prof. Dr. Luiz Adolfo de Mello

*Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – UFS; [ladmello@uol.com.br](mailto:ladmello@uol.com.br)*

### **Acknowledgements**

We thank SBFísica the commitment and administration of national professional master's degree in teaching physical (MNPEF), because this work is the result of class preparation of quantum mechanics course to this master's program. We thank CAPES for financing MNPEF and indirectly this work. My sincere thanks to the IHMC by availability of concept maps tools.

## INTRODUCTION

Before the 50s there wasn't great concern about the proper production of textbooks. Until this time teaching was based mainly on memorizing formulas and texts, so that the textbooks reflect this ideology. On the other hand there was not a very clear distinction between university careers, so there were very few texts or none for specific careers formation.

After World War II and the advent of the Cold War, the U.S. felt the need to produce a great teaching program aimed at training of scientists in general. In 1956, a group of professors, high school teachers of physics and from the Massachusetts Institute of Technology (MIT), led by Jerrold Zacharias and Francis Friedman, formed the Physical Science Study Committee (PSSC) to think and propose ways to renew the physics teaching in introductory courses (PSSC, 1960, 2014). Those educators decided that appropriate textbooks could stimulate, at least in part, the students' interest in the subject, get them to think like a scientist.

Despite the excellent material produced, this first attempt was unsuccessful precisely because their goal was being focused on the forming of scientists. But this project has inspired the creation of various projects world apart from that (Harvard, 2006; Nuffield, 2014; PEF, 1980). The most important teaching project inspired by the PSSC is the Harvard Project Physics Course or Harvard Project Physics (Holton, 2003; Jefferson, 2006). The Harvard Project Physics is based on a humanistic approach of doing science and in this project the connective pedagogical approach was proposed. Teaching material and therefore his books were written with the goal of educating citizens in general and not only scientists.

In the last decades the multiplication and universalization of university careers led to the explosion of the Editorial Market, both in the bachelor degree as in the secondary school. The combination of engineering with the agricultural, environmental, foods and other sciences created the necessity to produce a wide variety of specialized textbooks. This created opportunity to the emergence of several educational proposals for science teaching. In particular we have Physics book with the purpose of training scientists, engineers and biological sciences. We have text books for junior's years of engineering courses based on calculus and others based on algebra.

These books and e-books are composed of texts produced according to a teaching methodology with very specific purposes and in accordance with the prior mathematical knowledge of each student. Thus, they are the materialization of a didactic transposition (De Mello, 2016a; Chevallard, 1982) of scientific knowledge and called hereafter the "Pedagogical Fact" (a material object). We will use the term pedagogical fact even if the knowledge is produced in the form of a hypertext or as a figure, graph, table, or website<sup>11</sup>.

The theory that studies how this pedagogical fact occurs is called the Didactic Transposition (DT) (Chevallard, 1982; De Mello, 2016d). That is, DT is the theory that studies how the knowledge produced in research spheres are transformed and

---

<sup>11</sup> Henceforth any materialization of knowledge will be called event or educational fact.

consolidated in knowledge to be taught both in higher education as in the basic cycle. That is, we will use as theoretical framework the generalized theory of DT of Chevallard, Izquierdo and De Mello called DT-CHIM (De Mello, 2016d).

De Mello (2016b and 2016c) has shown that the best and most efficient way to make the analysis of how scientific knowledge produced in research spheres is transposed to textbooks, consolidating as a pedagogical fact is through the use of concept mapping as this was an algorithmic language (MSKS). Using this study tool (MSKS) De Mello (2016e) created a research methodology for the DT.

Recent contributions from the epistemology of science for the teaching of Sciences have originated a new approach (Theory) for this last one called "cognitive model of science" (CTS). That originates from the Kuhnian philosophy of science (Kuhn, 1970). Along with other recent contribution to theories for the teaching of the sciences, the theory of "didactic transposition", that comes from new scientific education (Chevallard, 1985), suggest the possibility of examining with much more depth as the knowledge produced in the scientific spheres are translated at school sphere (Izquierdo, 2003). The use of CM allows establish "well defined rules" to make the analysis of how scientific concepts are developed, organized and built in the development of theories and laws of science, in particularly to physics (De Mello, 2015a). That is, CM is a very powerful tool in the study of didactic transposition. This allows you to build a form of algorithmic language to perform this analysis (De Mello, 2015b). Thus, when we propose to make a DT the first question that arises is: what is it 'do science' and what is teach science?

The Merriam-Webster Online Dictionary defines:

Science (Scientia the Latin, translated as "knowledge") refers to any known or systematic practice. In the strict sense, science refers to the system of acquiring knowledge based on the scientific method and to the organized body of knowledge achieved through such research. (Merriam, 2015).

Thus, we have that to teach science we must teach systems or methods to acquire knowledge and, at the same time, teach how to reach this body organized knowledge from these. But, this is, in general, impossible to reproduce in the classroom (Izquierdo-Aymerich, 2005). Thus, the question arises: what is teach science in the classroom of middle school education as the superior?

If we analyze the textbooks written for the middle school, from the point of view of knowledge and of his method of obtaining, we will see that these are classified into two types: (a) those that start exposing the theory and then presenting the experimental facts that redounded in their formulation or discovery as merely a confirmation of its validity or importance; b) and those who start exposing the experimental facts that redounded in its formulation and putting the theory as a direct consequence of these facts. With the introduction of modern teaching methodologies we have some alternative versions of exposure of textbooks. We have textbooks written under the methodology of based learning problems (Glencoe, 2005) in which each topic is

preceded and motivated by a presentation of an enigma that contextualizes the necessity of searching or formulation of the theory.

Thus, within the context of editorial or public policies, and from the national programs of production of textbooks is of vital importance to know how the scientific knowledge is transposed to textbooks and how this is effectively taught in the classroom. The scientific theory that addresses this problem is called Didactic Transposition.

The main objective of this book is to demonstrate that the theory of DT-CHIM together with their pedagogical facts and equipped with the research methodology based in MSKS is a social science. We will use as an applying example the quantization theory of Max Planck.

## **CHAPTER 1 - PEDAGOGICAL FACTS AND ITS RESEARCH METHODOLOGIES**

With the emergence of the World Wide Web, with the democratization and universalization of education and information the knowledge has become an integral and fundamental part of current society - the information society (Masuda, 1980; Burch, 2006). Knowledge is no longer a production and marketing process accessory and has to be a central and decisive part of the structures and rules governing these (Grant, 1996; Ernst, 2002). Similarly, various theories and methodologies have been created, developed and adapted to meet the needs and the development of the media and cybernetics.

Within this methodology, called data mining, we have several software or applications developed with the purpose to obtain information and manage the market. Among these we have the Oracle software, SAP and others (Chen, 2012). Basically these use resources of statistics along with the operational research theory (a methodology of research) to perform data processing.

From these researches are developed marketing strategies, advertising campaigns, product portfolio, products alteration, etc. Despite the motivation behind this research (according to Adam Smith (1937)) is the greed of the entrepreneur, the knowledge generated by this research (scientific methodology) is prepared in an intelligible form and scientifically. So we can call it a pedagogical fact. Even the design of a home page is made according to certain logical rules based on scientific knowledge coming from psychology and statistics and can be call a pedagogical fact.

Due to the impact of the multimedia, especially by the visual presentation, it caused the publishing companies to invest in the research of the impact of graphic arts over reading and text comprehension (Carney, 2002 and Schnotz, 2008). It has been shown that fully integrated figures into text contribute significantly in the reading and understanding of scientific texts and text in general (Clark, 2010). As this knowledge results in the production of certain kinds of books we may call it pedagogical fact.

In sequence we restrict ourselves to the study of how scientific knowledge is transposed to textbooks and how this becomes a pedagogical fact, that is a textbook (a material object) using concept mapping as a research methodology.

## **CHAPTER 2 - MENTAL MODELS AND SCIENTIFIC MODELS AND SCIENTIFIC PARADIGMS**

### **2.1 - Mental Models**

But what would be these models used by the students? Without going into detail on the various forms or types of reasoning, we have that Johnson-Laird (1983, p 163)



advocates that people think through mental models. Mental models, analogically to models of architecture, are as cognitive building blocks that can be combined and recombined as needed. As any other models they represent accurately or not the object or situation itself. One of its most important features is that its structure is similar (analog) to this situation or object (Hampson and Morris, 1996, apud Moreira, 1996).

Analogue models are often used to do research, create, test and communicate ideas (Bent, 1984; Black, 1962; apud Harrison, 2000). The analogy is an effective way to explain new ideas provided that the tutor and the listener to understand the analogy in the same way. The analogy is called the familiar object, experience or process (Gentner, 2001). Analog explanations work when the tutor and the listener agree with analog mappings that exist between the analog (prior knowledge) and the target (scientific knowledge). And we say that the mappings are shared when both parties agree that the analog is similar to target in this or that way.

In other words, mental model is an internal representation of information that corresponds, similarly, to the state of things that is being represented, whatever it. Mental models are structural analogues of the world (Moreira, 1996).

As an example we have the atomic model. Depending on the level of education if we ask what would be the atomic model we would have a different answer. The model of Thompson, or of Bohr's or the quantum mechanics model. Thus, there is not a single mental model for a given state of things. On the contrary, there can be multiple models, even if only one of them represents in an optimally way this state of affairs. Each mental model is a representation of that state of things analog and reciprocally, each analog representation corresponds to a mental model (Moreira, 1996).

But, there is a basic difference between conceptual models and mental models (Norman, 1983). The physical models are conceptual models, that is, models built by researchers to be able to draw up their theories and eventually facilitate the understanding or the teaching of physical systems. They are accurate, consistent and complete representations of physical phenomena according to a certain theory (Moreira, 2002). However, the students' models, or any individual, including those that create conceptual models, are mental models, that is models that people build to represent the states of physical things (as well as the states of abstract things) through their ordinary experiences. (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996; Greca, 2002).

In this article we will investigate how the scientific knowledge produced within a historical context of an epistemological or scientific revolution, in the sense of Kuhn (1970), is transcribed, or in the language of this article, suffers a DT for the textbooks in general. The central point of this article is to analyze, through CM, as the explanatory (scientific) models will be transforming as are transcribed for each epoch or paradigm and for each level of understanding.

But the current view what is a scientific theory or scientific knowledge is very advanced. Thus, it is necessary a little revision of theoretical parameters that we use here to do this study. In particular we will use the theoretical frame of Cognitive Theory of Science (CTS).

## 2.2 - A Cognitive Model of Science

The current point of view on the epistemology of science, the objective of scientific theories is not attain the truth, but to give meaning to the world, in accordance with the ultimate goal of an active transformation of nature (Hacking, 1983). The theories are the most important entities in science; they are built and modified in order to interpret the world (Duschl, 1990; apud Izquierdo-Aymerich, 2003). So, the objective of the Cognitive Theory of Science (CTS) is to understand how the scientists work and communicate (especially by means of writing), focusing its study on the semantic aspect of theories.

In order to illustrate and parameterize this problem we will have recourse to the history of science. To Boltzmann all theory is nothing more than a picture or representation of natural phenomena. For him (Boltzmann, 1890) an image or representation is a mental or subjective construction. For him a representation is an explanation of what occurs in nature. The task or objective of a theory must be the construction of a pure image of the external world, and this image is inherent to the man, this being a subjective and mental image. This image must be the star guide (Leitstern) of our thoughts and experiences. According Boltzmann theories do not have the ability to represent the essences that constitute the nature, or still, the physical reality. The scientist does not have any means to fully distinguish the image it produces from the image outside world.

From the moment that he sets theory as a representation, he refuses to discuss the atomism from arguments related to the existence, sufficient or not, of empirical data able to confirm the reality of atoms. While theory this is a picture. Thus, to evaluate it, we need to focus the discussion about its capacity to contribute to the work of construction of images of the external world, that is, of new theories (Videira, 2005 and 2006).

On the other hand, Ernst Mach and Ostwald (philosophers of nature and positivists) was opposed to the gases kinetics theory and the thermodynamics of Boltzmann stating that if the physics would be a science based and founded on natural facts, which meant the imaginary balls (atoms) created by some physicists to build the theories of atoms. Despite the epistemological differences between both, Mach and Ostwald sought to introduce in Natural Sciences fundamentally the same phenomenalist conception. For them, the physical theories have as objective to describe what is perceived by the human sensory organs, organizing what is "harvested" by these into a coherent whole and economical. In this work of organization, the human intellectual faculty is passive. Everything that is important for a good achievement of the scientific task is supplied by the observation (Videira, 2005 and 2006).

For Mach, the theory would have carried out their task if you have managed to describe what is given by the observation, without the need of being introduced into fictitious elements or hypothetical. The primacy given to empirical facts on the theory that obeys it, makes a technical element nothing more than a copy of the experience (Videira, 2005 and 2006).

It is used here a very similar design to Boltzmann's what is meant by science and what is to do science. In accordance with Carey (1992) and Nersessian (1992), the models are a type of mental representation. Hesse (1963) affirms that the scientific models allow a theory be predictive. The interpretation of a fact can be a consequence of this be related to similar or analogous facts that fit into a model. The propositional language that defines a theory is not used to describe the world, but is the construction of a mental model of it, which is a structural analogue of the real situation. So, this model is built according to strict rules and governed by existing scientific paradigm, as demonstrated in De Mello (2015b). Thus, the initial model thus generated will develop as explained other known or new phenomena.

Scientific theories are presented in textbooks as a set of models related to some facts and some identifiable instruments that give meaning to the theory. The relations between the models and the facts are developed through postulates and theoretical hypotheses, which can be more or less true or false, since that possess empirical content. A scientific theory is a family of models which in conjunction with hypotheses and or postulates establish the likeness of these models with the experimental facts. Thus, the theory necessarily contain your applications, or domain, and can be understood in part as the world interpreted (Giere, 1988; Suppe, 1989 apud Izquierdo, 2003).

These explanations, that is, theoretical ideas about the world created to understand it, are structured around concepts. For Latour (1999), these concepts, or what he calls knot or links, are those things that can help us understand the scientific activity and without which the scientific activity simply not exist (Izquierdo, 1999). Thus, it is argued here that conceptual mapping is the ideal tool for doing this study.

### **2.3 - Scientific Paradigm**

It is used here a version of the definition of scientific paradigm created by Thomas Kuhn (1970). Therefore, there is no single definition of paradigm, even Kuhn argues that this definition can never be complete (Chibeni, 2015). So here the paradigm is a concept used to mean a set of "concrete scientific achievements able to provide models from which arise the coherent and specific traditions of scientific research". But also it can be formulated as a "world view" that, assuming a "way of seeing" and "practice", includes a set of theories, tools, concepts and methods of investigation, which is commonly called mature science<sup>2</sup> (Kuhn, 1970).

The development of the mature science occurs in two phases, the phase of the normal science and phase of the revolutionary science. Normal science is the science of the periods in which the paradigm is unanimously accepted within the scientific community without any kind of dispute. The paradigm indicates to the community which type of research would be relevant, the rules of how to carry out this investigation and limits the aspects considered relevant to the scientific research (Kuhn, 1970).

Scientists are limited to resolve problems that the paradigm will giving them or that are appearing, but so that all research is performed inside and in the light of the paradigm that is accepted by the Community. At this stage of normal science, the

scientist does not attempt to question or investigate aspects that go beyond the paradigm itself, they are limited to solve difficulties that are appearing. The scientific problems are transformed into “enigmas”, enigma with a limited number of pieces that the scientists will carefully manipulating until them find the final solution. Furthermore, the final solution is known beforehand, only not knowing the details of the content and the process to achieve" (Kuhn, 1970). In this way, the paradigm that the scientist has acquired during their professional training provides them with the rules of the game, describes the parts to be used and shows you the path or goal to be reached. (Chibene, 2015)

When contradictory experimental facts with the current paradigm accumulate, that is, what Kuhn calls anomalies, and these are accumulating and resist for long periods to the best efforts of the best scientists, bold and creative members of the scientific community propose alternative paradigms. Having the current paradigm lost confidence such alternatives are beginning to be taken seriously by a growing number of scientists. It installs a period of discussions and disagreements on the fundamentals of science. But even during the crisis the paradigm hitherto adopted is not left until come another one that proves to be superior to it in almost every respect.

### **CHAPTER 3 - THE THEORY OF DIDACTIC TRANSPOSITION OF CHEVALLARD, IZQUIERDO AND De MELLO (DT-CHIM)**

#### **3.1 - The Theory of Didactic Transposition**

Briefly the Generalized Didactic Transposition Theory (DT) is a theory that involves the epistemology of science, cognitive science theory, didactic education and social theories to understand, create rules and study the mechanisms that conduct the process of transformation of knowledge produced in the research spheres to the academic field, and from this to textbooks and from this to the classroom of high school.

Chevallard (1991, apud Alves Filho, 2000) classifies the knowledge into three categories. The academic knowledge, called for him the scholar Knowledge. The knowledge contained in textbooks, the Knowledge to be Taught. And the knowledge as taught in the classroom, or the Knowledge Taught.

It is within this context that the Chevallard theory of DT deals with the problem to understand, classify and study how the knowledge produced in the academic spheres will be adjusting, adapting and transforming into scientific knowledge taught in the classroom.

*According to this theory, a concept to be transferred, transposed from one context to another, undergoes profound changes. To be taught, the whole concept keeps similarities with the idea originally present in your research context, however acquires other own meanings of the school environment in which will be inserted. This transposition process transforms knowledge giving it a new epistemological status (Astolfi, 1995; apud Brockington, 2005).*

It can be shown (De Mello, 2016b) what school science and scientists science have in common is that their theoretical ideas, concepts, were arrested and sealed in black boxes after gaining importance and after become more "solid" and "strong", that is, after "consolidated" - Latour thesis (1999). That such packaging process leaves out details, explanations and reasons that were necessary to convince others of their "original power to explain" - both to the scientific level and to the educational level (Izquierdo, 2003).

De Mello (2016c) demonstrates, for the case of the topic of physics called Photoelectric Effect, that currently the scientific knowledge is structured didactically in their transcriptions to textbooks in: a) models; b) the core of the theory; c) experimental facts; d) the key concepts; e) the methodology and f) the application of the theory. Thus, it is necessary to understand how these "pieces of knowledge" are inserted, deleted, and summarized to make each text a coherent whole.

De Mello (2016a, 2016c) divides the theory of DT into two parts. One part of the theory deals with the socio-cultural influences on didactic teaching (Chevallard, 1991; Brockington, 2005). And the other is concerned with the epistemological and semantic aspects of the theories and how these are translated to the textbooks (De Mello, 2016a, 2016b and 2016c).

In his theory Chevallard divides the DT process in three stages. Thus, the Chevallard DT studies how the scholar knowledge becomes the Knowledge to be Taught and how this becomes the Knowledge Taught. De Mello (2016a, 2016b and 2016c) demonstrated that the theory of DT should consider that the knowledge produced in research spheres (scholar knowledge) is consolidated and/or regulated in the post-graduate programs (sphere), the academic knowledge, then transposed to the level of the Bachelor and finally transcribed or adapted to the level of the high school (the Knowledge to be Taught). This is necessary because we have today textbooks designed for post-graduate courses and graduation. Strictly speaking we would have to subdivide the graduation degree in academic and university basic level cycle. See De Mello (2016a). So we have to divide the Scholar Knowledge into three parts. Scholar Knowledge (Research Level), the Academic Knowledge (Post-graduation Level) and the University Knowledge (graduate level).

Scholar Knowledge → Academic Knowledge → University Knowledge → Knowledge to be Taught → Knowledge Taught

After Chevallard, so we can deeply understand how scientific knowledge is transcribed to textbooks we have to include in their analysis the external environment in which it occurs. This transformation occurs within an environment or within a university sphere (the Didactic System) that is within a small universe that is the external environment (the educational system). In addition to these environments we have the school environment where effectively occurs the DT. That is, we have to take into account that there are factors outside the school system, embedded in a wider environment where all these spheres coexist and influence (Brockington, 2005).

Chevallard (1991) uses the word noosphere to designate and encompass the elements involved and regulating the selection and determination of the changes that scientific knowledge will suffer to become school knowledge. The noosphere is

composed of scientists, educators, teachers, politicians, authors of textbooks, among others (Brockington, 2005). Due to the diversity and richness of existing factors in the academic sphere governing the selection and standardization of scientific knowledge De Mello called this environment epistemosphere.

Within this epistemosphere we have, in the case of exact courses, books of Physics written for courses based on calculus and the other based on algebra. We have Conceptual Physics books, Physics for Engineers and traditional. De Mello (2016b and 2016c) demonstrated that DT for the basic cycle occurs from these texts and not from the original articles. Thus a theory of DT should study and track how the knowledge or scholar Knowledge is transformed in this epistemosphere to get to Knowledge to be Taught.

After this phase, the knowledge is transformed within the context of editorial policies, national programs of textbooks production and formulation of public policies to achieve the textbooks and be effectively taught in the classroom. This is where the teaching methodologies and pedagogical proposals come into play. That is, when studying or analyzing the transformations that knowledge suffers to reach the school environment we should consider both the epistemological aspects of science as their pedagogical and methodological aspects of teaching.

Like every theory of human and social sciences, the DT theory does not contain "closed" Laws or rules defining as a DT should occur or be achieved. But even so, Chevallard proposed some characteristics that define the reason that a certain knowledge to be present in textbooks. Chevallard (1991) defines some of these characteristics. In summary these are (Brockington, 2005):

- 1 - Consensual: The Noosphere members must agree that a given knowledge is definitely established. That is, it is not speculative or that there is no doubt in the scientific community.
- 2 - Moral Actuality: The Noosphere members must agree that a given knowledge is relevant and necessary in order to be entered or remain in the school curriculum.
- 3 - Biological Actuality: The content taught should be consistent with the theories or current models or accepted by the scientific community. While this is seemingly obvious, there are pedagogical exceptions. For example, we have the fact that Thomson, Rutherford and Bohr models are still being taught in schools.
- 4 - Operability: For a Knowledge be implemented and remain in school curriculums this should generate questions, exercises and problems. As an example we have all the textbooks discuss in detail the theory of the photoelectric effect and on the other hand few address in detail the theory of blackbody radiation.
- 5 - Teaching Creativity: Chevallard has coined this term to be able to explain the reason to teach subjects of science that are currently not part of the research field.
- 6 - Therapeutic: One of the reasons a particular knowledge to stay in school curricula is to your success in the classroom.

Due to the great scientific and technological advances, and needs of the school curriculum updating, Chevallard and Johsua (1982; cited in Astolfi, 1995) has produced five rules for DT (Alves-Filho, 2005). We will list below only their first two, which from our point of view fit within this classification, that is:

7 - Modernizing school knowledge. The curriculum should address current subjects, such as: a) superconductivity; b) nanotechnology; etc.

8 - Update the knowledge to teach. The noosphere agents must define what knowledge should be removed from textbooks because they are obsolete.

From our point of view the fourth Astolfi rule (1995) is included in the guideline 4 (Operationality) of Chevallard. And the rules 3 and 5 fall into guidelines or suggestions for how the DT should be made.

### 3.2 - Didactic Transposition and The Cognitive Model of Science

Recent contributions from epistemology of science for science teaching led to a new approach (theory) of the latter called "cognitive model of science" (CTS) that originates from Kuhn's philosophy of science (Izquierdo, 2003). Along with the theory of "didactic transposition" suggest the possibility to analyze with more depth as knowledge produced in scientific spheres are translated to the school sphere.

De Mello (2015b and 2015c) demonstrated that to understand how the knowledge produced in research spheres (scholar knowledge) is transposed to the school spheres should take into account what is actually meant by scientific knowledge and to do science.

According to Izquierdo-Aymerich (2003)<sup>12</sup> when we simplify or define, with didactic purposes, what is science or to do science we can describe it as a way of thinking and acting in order to interpret certain phenomena and to intervene through a series of theoretical and practical structured knowledge. As a result of science education is desirable that students understand that the natural world has certain characteristics that can be modeled theoretically. Because of this we present to them, making a DT, some reconstructed facts, theoretical models, arguments and propositions that were previously selected.

In addition, if the teaching of sciences is done in accordance with the principles of meaningful learning (Ausubel, 1977), that is, a well executed didactic transposition (Chevallard, 1990), the teachers will be involved in the task of connect scientific models to used by pupils themselves, using analogies and metaphors that may help them to move from the last for the first (Duit, 1991; Flick, 1991; Ingham, 1991; Clement, 1993).

So to teach science we have to teach systems or methods of acquiring knowledge and at the same time, teach how to arrive to this organized body of knowledge from them. But in general it is impossible to reproduce in the classroom (Izqueirido, 1999). Thus, the question arises: What is teaching science in high school classroom as in the university?

If we analyze the textbooks written for high school, from the point of view of knowledge and its method of obtaining, we see that these are classified into two types: a) those who start exposing the theory and then presenting the experimental facts that leads to its formulation or discovery as a mere confirmation of its validity or

---

<sup>12</sup> The following two paragraphs are a collection of statements that together form the definition of that is the DT from the CTS point of view.

importance. b) and those that begin exposing the experimental facts that resulted in its formulation and putting the theory as a direct consequence of these facts. With the introduction of modern methods of teaching we have some alternative versions of exposure of textbooks. For example, we have textbooks written in the problem-based learning (Glencoe, 2005) in which each topic is preceded and motivated by the presentation of a puzzle that contextualizes the need of the search or theory formulation.

Like every theory of human and social sciences, DT theory does not contain "closed" Laws or rules defining as a DT should occur or be achieved. Within the current context of science education in the basic cycle and university we can suggest some guidelines for how the DT should be made.

- 1 – Partition of knowledge: Divide into its constituent parts, that is, between theory, model, experimental facts, applications, historical facts, etc.
- 2 – Articulate the "new" knowledge with the "old" (Chevallard, 1982; cited in Astolfi, 1995): When teaching a new theory, such as special relativity, the author and/or teacher should make clear that the old theory (in this case the classical mechanics) is still valid within their limits of validity (at low speeds).
- 3 - Make a concept understandable (Chevallard, 1982; cited in Astolfi, 1995): We must rewrite or redraft a concept to the level of students understanding.
- 4 - Making a model significant: To adapt and/or modify the theoretical models, or the scientific models to the level of students understanding. Or connect it to the model used by them.
- 5 - Simple Math: Scientific knowledge should be redrafted using an appropriate mathematical formalism to every school level.
- 6 - Pedagogical Actuality: Scientific knowledge must be redrafted in accordance with a teaching methodology. For example, according to the methodology of problem-based learning.
- 7 - Functional Actuality: Scientific knowledge should be drawn up according to the type of training required for each course. For example, text to train engineers.

To justify the introduction of 6 and 7 guidelines we currently have several university courses with various educational proposals. Some proposes to train scientists in general and others to train professionals for the labor market. A line of educators argue that science education should somehow reflect what is scientific activity and do science. But others argue that science should be taught in an objective manner. That is, it should be taught the concepts, theories and applications without worrying about doing science. Thus, the science teaching at school cannot be strictly based on the analogy of the student as a future scientist, that is, with a strong scientific basis (Izquierdo-Aymerich, 2003).

In the first line Izquierdo-Aymerich and Aduriz Bravo (2003) distinguishes between the characteristics of two sciences, the science of scientists and what they call school science. They argue that both sciences have a common cognitive goal: understand the world and communicate theoretical ideas accurately and significantly. Moreover, they propose that the didactic transposition process is to recreate the science



of scientists in the classroom, according to their own institutional values, rhetorical tools and educational goals, to convert it into school science.

## CHAPTER 4 - CONCEPTUAL MAPPING AND MAPPING OF CONCEPTS.

### 4.1 - Preliminary Concepts

The main objective of this article is to present a generalization of the research, presentation and evaluation tool of the knowledge called Concept Map (CM) that we will call here Map of Structure of Scientific Knowledge (MSSK). Specifically the mapping of theories and laws of physics as presented in textbooks in general. Thus, we will deal with the problem of presenting laws, concepts and theories in graphic or visual form and in a coherent way. In order to create a research methodology that allows the researcher in science education to compare, classify and elaborate textbooks of exact sciences in general we will show that if we create more or less rigid rules this becomes a powerful tool for the elaboration of scientific knowledge. But, physical laws are expressed in terms of statements that contain mathematical formulas. Equations (vectorial) of type  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  are of central importance in physics. Names of famous scientists and experiments play a key role in spreading and characterizing certain laws. How to express them using CM?

There are several ways to represent a sequence of activities, ideas, concepts, etc. The simplest one is using a flowchart. Flowcharts are graphical representations through symbols and arrows used symbolically to describe a sequence of activities, operations or actions that are encapsulated in boxes. Unlike concepts maps, they don't have or use connector words in their boxes.

Another simple way to present and organize ideas graphically would be through an organogram. Organogram is a chart that represents the formal structure of an organization. This, too, does not use binding words.

We can use synoptic picture to summarize and present ideas. The synoptic picture is a schematic summary of an idea, a text, a document, and even a teacher's lesson. Its main advantage is to allow the visualization of the structure and organization of the content that exposes a given text. It can be crafted with the help of braces, diagrams and even use a series of columns and rows as well as tables. Figure 4.1

Another way is through semantic networks. A semantic network is a form of knowledge representation defined as a directed graph in which the vertices represent concepts and the edges represent semantic relations between the concepts. They are considered a common form of database readable by a machine (Uchôa, 1994).

Figura 2.1

**Figure 4.1** - Conceptual Map illustrating the most usual forms of graphical presentation of ideas and concepts.

You can also use a mind map. A mind map can be considered as a semantic network variant. In using colors and figures the emphasis is on generating a semantic network that invokes human creativity. Nevertheless, the great difference between the mental map and the semantic network is that the structure of the mental map is hierarchical, with the nodes starting from a central point. Differently, in the semantic network the nodes can be connected with any other nodes (Archela, 2004).

Figura 2.2

**Figure 4.2** – Example of mental map

An algorithm is a description step-by-step and a methodology that results in solving a problem or performs a task. In general, this is represented as a resolving scheme of a problem. It can be implemented using any logical sequence of values or objects (for example, the English language, Pascal, C language, a sequence number, a set of objects such as pencil and eraser), or anything that can provide a logical sequence. Below we can see an algorithm implemented in a flowchart on the state of a lamp.

Figura 2.3

**Figure 4.3** - Flow chart about the state of a lamp.

This was created and improved to make easier the task to program computers. This is based on the methodology of subdividing the task or problem. For example, we can divide systematically the problem in smaller sub-problems until we get a set of sufficiently small sub problems that allows us to solve them. In general, the algorithms are presented in the form of flowcharts before being placed in any suitable computer language.

## 4.2 - CONCEPT MAPS

Concept map is a concise way to present and connect concepts (Novak, 1990; Moreira, 2005). As this is a mapping of concepts it uses linking words to connect ideas or concepts. Due to the variety and freedom to present graphically the concepts we have that CM is the ideal tool to evaluate, present, synthesize and summarize knowledge. See figure 1 above.

It can be said that a concept plus its connector (connecting word) is the unit or element that forms or constructs a concept map. It is constructed by the unit below:

Figura 2.1.1

Joseph D. Novak (2006) defines in a wide manner which is conceptual maps (CM):

“Concept maps are graphical tools for organizing and representing knowledge. They include concepts, usually enclosed in circles or boxes of some type, and relationships between concepts indicated by a connecting line linking two concepts. Words on the line, referred to as linking words or linking phrases, specify the relationship between the two concepts.”

Due to its flexibility and degree of freedom of construction CM is one of the most used tools to represent and evaluate knowledge. As this can be constructed in the structure of knowledge more inclusive for the less inclusive, this is the ideal tool to teach significantly and / or evaluate if there was significant learning. Thus, the most common ways to build a CM are (Romero, 2007):

- 1 – Concept Map Spider-like: The “spider-like” conceptual map is organized by placing the central theme or unifying factor in the center of the map. The sub-themes radiate outward circling the center of the map.
- 2 – Hierarchical Concept Map: The concept map type hierarchical presents information in a decreasing order of importance. The most important information is placed at the top. Distinctive factors determine the placement of the information.
- 3 – Flowchart Conceptual Map: The flowchart concept map organizes information in linear format.
- 4 – Concept Map System-like: The system-like concept map organizes information in a shape similar a flowchart with the addition of ‘INPUTS’ and ‘OUTPUTS’.

Figura 2.4

**Figure 4.4 - Spider-like Concept Map.**

When thinking about teaching and meaningful learning the construction of conceptual maps must be done in the manner proposed by Novak and Gowin (Novak, 1998; Novak and Gowin, 1999). In this it is considered a hierarchical structuring of the concepts that will be presented both through a progressive differentiation and an integrative reconciliation.

When the CM is well constructed allows the visualization and perception of how the keys concepts from a particular topic or field of knowledge follow one another, intertwine and organizes themselves in the structuring of this knowledge. Thus, we tried to create some basic rules for the construction and standardization of CM's that can be seen in many articles (Novak 2006; Moreira, 2006; De Mello, 2014). Despite these rules concept map is a very flexible tool and can be used in various ways. But, as showed by De Mello (2017a and 2017b), in the case of a systematic study we must create some very specific rules for the construction of CM, so that they become a kind of algorithmic language. This is the central theme of this article.

Figura 2.5

**Figure 4.5 – Concept Map of the Hierarchical type.**

Due to its concise, hierarchical and graphical way of presenting the key concepts to be taught we have that CM are a powerful tool to make curricular analysis in general (Novak, 2006; Moreira, 2006). De Mello (2017a) generalized this idea and showed that CM is the natural tool to perform the analysis of the conceptual framework that textbooks are written. Due to its concise, hierarchical and graphical way to present the key concepts the construction of an CM for a topic or the whole book, allows you to see promptly and succinctly the conceptual framework that a particular author used to concatenate and organize the key concepts that go into the preparation of your textbook. But, as we said above, Physical theories are expressed in terms of mathematical equations and their functions. Therefore, we will have to briefly discuss what these are and their role in transmitting knowledge, especially school knowledge.

### 4.3 - Concept Maps And Physical Laws - Maps Of Structures Of Scientific Knowledge

When constructing a whole methodology of research to study how knowledge is generated and transmitted, in the particular case here of Physics, we have to analyze with a little more care what are concepts and connection words in a CM. In the first place, the connecting words are not restricted to mere prepositions, but these can be verbs, two words, and so on (Novak, 2006). Without going into details of what a concept is in its more general or comprehensive definition, more details see Novak (2006) and Moreira (2005), Physics concepts are definitions based on hypotheses, laws or theories that are generally based on laws of physics which in turn are expressed in terms of mathematical functions and their equations.

**Symbols and symbolic representation of relations and operations.** When we are studying or teaching concepts of kinematics the letter or symbol or sign “s” means space and is called the Physical quantities. But space in Physics means place, region with three dimensions (height, width, and depth) and is a dimensional quantity, that is, it is obtained by means of a measure by comparison with a scale (for example, a bar of one meter). In this way, a signal in physics has a series of meanings and concepts. Further details see Lindsay and Margenou (1957).

On the other hand, we have primitive and derivative quantities in Physics. That is, as in mathematics, in Physics the physical quantities are manipulated through the rules of algebra and calculus to produce or derive other physical quantities. These are called derived quantities. Through well-planned laboratory measures and strong control of external conditions we obtain functional relations and equations that describe the behavior and functional dependence of these quantities<sup>13</sup>. Some of these functions are so important that they are called the fundamental law of physics (Lindsay, 1957). For example, Newton's 2nd Law:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ . Other formulas commonly denominated of law are only hypotheses, like the law of the Universal Gravitation,

$$\vec{F} = \frac{GMm}{r^3} \vec{r}$$

---

<sup>13</sup> For example, David Hume (19xx)

**Laws of Physics.** A physical law is nothing more than a symbolic description (in the "simplest" form) of a routine observed in a limited field of phenomena. It is good to emphasize again its descriptive nature. He never intends to give a reason for any of the phenomena described in the metaphysical sense (Lindsay, 1957). For example, Newton's 2nd Law tells us that when we apply a force  $\vec{F}$  to a body of mass  $m$  this will acquire an acceleration  $\vec{a}$ . That is, it does not constitute what is popularly called explanation. Newton's law of gravitation is not an explanation of gravitation, in the sense that it explains why particles attract. It is just to give an accurate description of the observed attraction. Physical law attempts to answer the "how" question and not the "why" question. But when we put the symbol  $\vec{F}$  for a physicist or student of Physics it becomes explicit all that we mentioned above and that on the right side of this expression we can substitute any of the types of forces existing in nature. Further details see Lindsay and Margenou (1957).

**Physical Theory and its Construction.** In order to construct a physical theory we must define its primitive concepts and symbols. In Mechanics these would be those of space (s), time (t) and mass (m); In Gas Theory would be pressure (P), volume (V) and Temperature (T), and so on. From these we obtain or construct other symbols or derived quantities. In Mechanics we have velocity (v), acceleration (a), moment (p) and others. We are then ready for the next step - the choice of hypotheses or we assume fundamental relations between the symbols by logical deduction from which all the special results of the theory, namely the laws, must be obtained. Further details see Lindsay and Margenou (1957).

Therefore, due to the hard work of systematization and definition of a concept map by the scientific community, I will have to create a particular denomination for conceptual maps in which concept boxes are made by equations, formulas, symbols or names<sup>14</sup>. As you might expect, we can use physics symbols when we use functions, equations, names of physics, etc as connection words. We will call these generalized concept map as "Maps of Structure of Scientific Knowledge".

Thus, if one is studying or evaluating a text whose content is the epistemological and pedagogical construction of a theory belonging to Physics one can use symbols and names of the laws of Physics in the construction of a graphical representation of this in the form of a map of the structure of scientific knowledge (MSSK). That is nothing more than a generalized conceptual map. We put down an atomic unit of this in which on one side we have the famous Planck equation connected through the integral signal (a sum over all wavelengths) to the Rayleigh's Law.

#### Figura 2.1.2

In this way, it is clear to a physics teacher if the textbook was elaborated in a more conceptual manner, that is, if it omits certain mathematical demonstration or not. This is very important in the convenient choice of textbook for an exact course. In the sequence we will discuss some rules of construction of these maps of structure of

---

<sup>14</sup> I believe that it is for a definite time, therefore, in essence we have a conceptual map.

scientific knowledge in order to create a tool that helps us in the construction and evaluation of didactic texts.

#### **4.4 - Conceptual Maps, Didactic Transposition and Cognitive Models of Science.**

But scientific theories are constructed from scientific models, assumptions and theorems that are proposed to explain a certain set of events. These explanations are structured around concepts, nodes or links (Latour, 1999), which allow us to understand the scientific activity. (Izquierdo, 2003).

On the other hand, scientific theories are presented in textbooks as a set of models related to some facts and some identifiable instruments that give meaning to the theory. Relations between the models and the facts are developed through postulates and theoretical hypotheses, which can be more or less true or false, since they have empirical content. Therefore, a scientific theory is a family of models together with postulates and/or assumptions establishing the similarity of these models with experimental facts.

These explanations, that is, theoretical ideas about the world created to understand it, are structured around concepts. For Latour (1999), these concepts, or what he calls knots or links, are those things that allow us to understand the scientific activity, without which scientific activity simply would not exist (Izquierdo, 2003). Thus, being CM diagrams of meanings, indicating hierarchical relationships between concepts or between words that represent concepts, these are the ideal tool to map as these nodes or links are prepared and organized so as to create a coherent whole and that make sense to a certain level of schooling. That is, to study how the knowledge produced to a level of schooling is transcribed to another. More details see Novak (1990) or Moreira (2005).

De Mello (2017c) demonstrates, for the case of the topic of physics called Photoelectric Effect, that currently the scientific knowledge is structured didactically in their transcriptions to textbooks in: a) models; b) the core of the theory; c) experimental facts; d) the key concepts; e) the methodology and f) the application of the theory. Thus, it is necessary to understand how these "pieces of knowledge" are inserted, deleted, and summarized to make each text a coherent whole.

De Mello (2017b, 2017c) showed that in the case when the original theory was built in a paradigm revolution (Kuhn, 1970) that the theory must first be consolidated in the new paradigm before suffering a DT to the high school level. That his original explicative models must be adapted or rewritten in this new paradigm.

So, the CM built to analyze how knowledge suffers a DT must be constructed under some rules. In this the conceptual structure described above should be very clear. Like an algorithm it must be created with the finality of describing the knowledge structure. The CM builder must be trained to dissect the knowledge in its fundamental parts.

#### **4.5 - Maps of Structures of Scientific Knowledge and the Analysis of the Textbook**

Let's use the following MC to analyze the conceptual framework with which textbooks are written. That is, how the knowledge produced for one level of schooling is transcribed to another. As stated above due to its concise, graphical and hierarchical way of presenting key concepts to build a CM to a topic or for a book, allows viewing promptly and succinctly the conceptual framework that a particular de Mello used to concatenate and organize the key concepts that enter in the preparation of its textbook.

A simple analysis of the index of a book or booklet does not allow us to promptly visualize the underlying structure of the conceptual construction of a body of knowledge. The statistical counting of the number of concepts discussed in a text also does not give us a clear idea how these are connected together to form a conceptual framework. We will show below that the usage of CM help us much in understanding this conceptual construction.

We will do below a comparative analysis of four modern physics texts in order to illustrate this idea. In this article the analysis will be restricted to the content called early days of quantum mechanics until the introduction of the Schrödinger equation.

#### 4.5.1 - University Level

In this sequence of articles (De de Mello, 2014) we use as a reference textbook the book 'Quantum Physics' of the de authors Eisberg and Resnick (1985), written to the academic level of the physics course. Another feature of this book is that it was written to form scientists, in particular to train physicist to work with Modern Physics. As this is one of the first books used in modern physics courses and it is an improved version of 1961 book of the first de Mello, entitled Foundations of Modern Physics, it is natural that the most de authors of modern books have studied with this textbook or at least used it as one of its references (De Mello, 2014). As comparative examples we will analyze two other textbooks written to training engineers to work in today's modern world.

Let's beginning with Eisberg's book. It contains the following topics:

- Cap 1. Thermal Radiation and Planck's Postulate
- Cap 2. Photons - Corpuscular Properties of Matter.
- Cap 3. Wavelike properties of matter.
- Cap 4. Bohr's Model for the Atom.
- Cap 5. Schrödinger Equation.

Let us use this book to define the model to building the conceptual maps. When the text is too broad or when each chapter or section contains many topics, we put the main topics in a central vertical column and its subtopics will appear in a lateral horizontal line. If we need to introduce a subsection we could use a diagonal line, as representing a depth, giving a three-dimensional character to the CM.

For example, we have the CM-1 of Eisberg's book, Figure 4.5.1. In these the sequence of the chapters is shown in the center column and the main sections are presented on the sidelines. For the purpose applied here to CM we have that unlike 'traditional' CM, we will not use cross lines to indicate that a well defined concept

within a chapter or section will be used in a later chapter or section to support another concept. This is expected to normally occur in a text. We will use this only to indicate the cases in which a concept is used in one section and later introduced or defined into one or more sections.

As in this text the explanation of each topic is fully contained within the chapter and its concepts are used in sequence in other chapters, we don't have crossed lines between secondary columns. We will see below a counterexample. In the end of the 1st chapter we have some applications of the theory of Planck's and these are in the same order of importance among themselves. Thus, we put them in a depth dimension of equal importance, so that this CM has three dimensions.



Figura 2.6

**Figure 4.5.1** - Concept Maps of the first five chapters of the Eisberg book.

It is worth noting that as the emphasis in the textbook is to present experimental facts that result in the formulation of a particular theory or model we notice that this presents some experimental facts before the model or theory that explains these, disregarding the chronological order of their discovery or formulation. For example, the "wavelike properties of particles" appear before the Bohr model, although chronologically the Bohr model has been proposed before the theorem of De Broglie. Confirming the theory of DT which states that the way to teach science often differ substantially from the way of doing science.

As said earlier, the Eisberg book aims to train scientists, mainly to work with high-energy physics. Thus, in the chapter "The Bohr model for the Atom" they do a detailed study of the Rutherford scattering model, which will be deleted from the majority of textbooks made to the basic or academic cycle.

As an example of Modern Physics (MP) textbook written for engineering course and that follows almost the same structure as Eisberg, we have the book 'Principles of Physics' of the de authors Serway & Jewett (2006). The contents of this MP book are almost all contained in Chapter 29.

1. Black body radiation and the Theory of Planck	8. Principle of Uncertainty
2. Photoelectric effect	9. An interpretation of Quantum Mechanics
3. Compton Effect	10. A Particle in a box
4. Photons and Electromagnetic Waves	11. The Quantum Particle under boundary conditions
5. Wavelike properties of particles	12. The Schrödinger equation.
6. Quantum particle	13. Tunneling through the potential barrier.
7. Again the double-slit experiment	

Note that in this collection the Bohr's model is described in Chapter 11 (Mechanics) along with the gravity model, and then it is only used in section 29.7 of the chapter 'Atomic Physics'. Herewith the de authors focus the whole explanation for the atomic structure of atoms with a single electron in this chapter. The analysis of their content tells us that this text should have the same structure as the Eisberg text. To check this we do a CM, Figure 4.5.2.

In CM-2 (Figure 2) we see that from the 'blackbody radiation' passing through the 'photoelectric effect', until "The wavelike properties of particles" the text is simple and succinct and resembles the structure of Eisberg's book subtracting the scattering theory of Rutherford. Here we see as a content with a high degree of mathematical difficulty is filtered in the DT. From the 'quantum particle' the de authors change the instructional sequence to take advantage of the concepts of physical optics taught previously and the previous knowledge of differential equations to introduce the concept of quantum particle and motivate the need to postulate an equation for the wave particle. See CM-2. We verify in these sections, especially when they needed discuss 'the physics of a particle in a box' before introducing the Schrödinger equation, the difficulties encountered by the de authors in performing the didactic transposition of a

texts produced for the academic level to a text fitted to the basic cycle of a engineering course. We note in Section 7 to 13 the phenomenon of dilution of the knowledge, i.e., as a topic of Modern Physics usually addressed in one section breaks it into several sections.

Figura 2.7

**Figure 4.5.2** - Conceptual Map of the topic Modern Physics of the book of the de author Serway (2006).

As a textbook that does not follow the didactic structure of Eisberg we have the University Physics with Modern Physics, Vol. 2. 12<sup>th</sup> Edition, Sears and Zemansky's (Young and Freedman, 2008). The contents of this book are distributed in three chapters namely:

*Cap38 - Photons, Electrons and Atoms.*

*Cap39 - The Wavelike Nature of Particles.*

*Cap40 - Quantum Mechanics.*

Although this sequence is very similar to the sequence of Eisberg, we can see in the CM-3, Figure 4.5.3, that this is completely different. As the text is contained in only three chapters we put their content into a single one central column. Since the sequence of content is too long (the phenomenon of dilution of the knowledge) its contents are presented in a very long chain of box.

Figura 2.8

**Figure 4.5.3** - Conceptual Map of the chapters 38 and 39 of the book of the authors Young-Freedman (2008).

Early on we see that this book was written with a strong emphasis on the point of view of optics. Already in the first section they present a description of the theory of emission and absorption of light (see Box side of CM-3) which use the term photon to describe electromagnetic radiation before the introduction of this term in the photoelectric effect chapter. They will split the chapter between theory of discrete and continuous spectrum of light emission. So they jump the "blackbody radiation" (which will be taught in the continuous spectrum section) and start with the photoelectric effect (PE).

As we see in CM-3, figure 4.5.3, they start addressing the experimental facts which characterize the PE. Next they use the Theory of Relativity to introduce the concept of linear momentum of the photon (anticipates De Broglie) which in turn is used to explain the PE, which will be used further ahead to explain the topic "spectrum of atomic lines and energy levels ", and then will be used again in the Compton Effect. Here we can see that the de authors of modern textbooks are considering that the most important themes, as Bohr model, are really taught in the high Scholl, so that they can use it without defining them. So, in the textbooks writing to form engineers, as in some

to form physicist, some physical concepts are presented in a truncated form. It can be seen in the figure 4.5.3.

Here we can see that while in the textbooks writing to form physicists the central theme or concept is the quantization, or the motivation to introduce the Schrödinger equation, the theme that the de authors consider most important or central is the discrete spectrum of the spectral lines. They sacrifice the chronological order of insertion of the concepts in favor of a more comprehensive explanation of the central theme. This can only be seen through its CM.

We can observe that they use the conclusions of the Bohr model to explain the topic "atomic spectrum of lines and energy levels". But the Bohr model will only be elaborated below in the text to explain the spectrum of the hydrogen atom (see Figure 4.5.3). This will also be used to explain the spectrum of X rays. As yet the text only addresses the discrete spectrum of energies, he uses the theme continuous spectrum of energies to introduce the CN radiation and Planck's hypothesis. Thereafter he follows an order of text presentation almost equal to the Eisberg.

In this text we can see that while in the textbooks writing to form physicists the central theme or concept is the quantization, or the motivation to introduce the Schrödinger equation, the theme that the de authors consider most important or central is the discrete spectrum of the spectral lines. They sacrifice the chronological order of insertion of the concepts in favor of a more comprehensive explanation of the central theme. This can only be seen through its CM.

We can observe that they use the conclusions of the Bohr model to explain the topic "atomic spectrum of lines and energy levels". But the Bohr model will only be elaborated below in the text to explain the spectrum of the hydrogen atom (see the central brown box in Figure 3). This will also be used to explain the spectrum of X rays.

Until this moment the text only addresses the discrete spectrum of energies. As we can see in the green block of boxes, bellow in fig.4.5.3, he uses the theme continuous spectrum of energies to introduce the blackbody radiation and Planck's hypothesis. They use the continuous spectrum of X-ray to motivate and discuss the empirical laws of Stefan-Boltzmann, Wien and Rayleigh.

Completing this analysis, if we look at some textbooks as the Halliday (1997) we see that these do not address the topic blackbody radiation and introduce energy quantization in the topic photoelectric effect. Regarding the presentation of atomic models we see that these are sprayed in some chapters. The Bohr model is presented in Sec. 39, "More Matter Waves" where they present several solutions of the Schrödinger equation and put the Bohr model as another electron confinement example. Again we are faced with the problem of DT of the Schrödinger equation. The Raisin Pudding model and the Rutherford model are included in the cap. 42 - Atomic Nucleus - where the de authors will discuss the theme of scattering particles and study skills of the atomic nucleus.

Figura 2.9

**Figure 4.5.4** - Conceptual Map of the chapter 39 of the book of the de Mello Young-Freedman (2008).

#### 4.5.2 – High School - Physics Principles and Problems – Glencoe Science (2005)

As a textbook written for high school we chose the Physics Principles and Problems (Glencoe, 2005). We chose this because it is widely used in American high schools and is available on the web. The modern physics topic is presented in four chapters as follows: 27 - Quantum Theory; 28 - The Atom; 29 - Electronic Solid State and 30 - Nuclear Physics. The study realized here will be restricted to Chapters 27 and 28. Its CM is shown in Figure 4.5.5 below. We can see in their CM, Figure 5, his pedagogical project is all grounded in three pillars: 1) Introduction to the theme through the experimental problems (connecting word “puzzle” in brown) that afflicted the scientists at that time; 2) presentation of the theory by describing an experiment rather than the detailed description of the scientific model; 3) finalization through technological applications (boxes in violet).

Due to the fact that physical theories are constituted by theorems, hypotheses, models and laws formulated in terms of functions or mathematical equations, many physicists defend the idea that a physical theory can only be transposed if your math can be written in an appropriate language to a certain level of knowledge (Griff, 1985; Meltzer, 2002 and Hudson, 1982). So in the case of high school these functions or equations assume an important role in DT. Thus we put these equations or functions in yellow boxes in the Glencoe's CM.

It notes that what distinguishes partly the academic levels, academic plus and honor in the American high school is the level of mathematical approach. We see that the same is true for books written for the early years of the university course. We have physics books written for “calculus based physics courses” and “Fundamentals Physics books” for the algebra based physics courses. Thus, there is consensus that we should create teaching methodologies that develop math skills for students wishing to pursue research career. These functions and mathematical equations, the problems and questions raised for developing these skills are called “Physical things” or “objects of physics” by the teaching physics group “Grupo de Relaboração do Ensino de Física” (GREF, 2015).

We see here, unlike some European's “teaching groups”, the text sacrifices philosophical facts behind the modern physics (e.g. Schrödinger's cat) and underlies their motivation in the appeal that new technologies have on students. If we take as an example the school of researchers in education of Barcelona which bases its analysis of DT on the Cognitive Theory of Science (Izquierdo-Aymerich, 2003 and Nersessian, 1992) and mental models (Johnson-Laird, 1995 and 1987) we see a trend of American schools to be more pragmatic and base his DT on the information and communication technologies (ICT), violet boxes, and in the project-based learning methodology (PBL), connecting word “puzzle” in brown.

Analyzing the first line, incandescent body radiation, we see that the authors replace the teaching methodology aimed at educating scientists, see the first line of the Eisberg's MC, for a teaching methodology aimed for high school level. That is, they introduce the subject by putting a puzzle or challenge that scientists faced in their time.

Then they illustrate the physical phenomenon with a home-made or low-cost example. Then they present the Planck solution followed by practical or technological applications.

According Pietrocola (Brockington, 2005) the characteristic simplicity and operability of a particular scientific content are decisive in their admission and permanence in school curricula. That is, a content containing a simple mathematical formulation, compatible with the secondary school, and that generates questions and problems are the preferred by educators. We confirm here, in the Glencoe text, that due to the linear dependence (equation) between kinetic energy ( $E_c$ ) the work potential ( $w$ ) and frequency ( $f$ ) and their generation of exercises (things of physics), that the topic 'photoelectric effect' is the preferred by high school textbooks. See Figure 5. It can be seen, too, for the topic "Bohr model". See Figure 4.5.6.

In fig.5 we see the text for the photoelectric effect contains basically the same conceptual content that of the Book of Eisberg. Besides containing the equation that provides the linear dependence between the frequency of the light and the kinetic energy of the ejected electron (yellow boxes), they discuss in detail the experimental facts that contradict the classical model for the electromagnetic radiation and confirm the hypothesis of quantization of electrical magnetic energy. See the crossed lines right from its CM. We see in this text that the equation that relates the kinetic energy of the ejected electron with the frequency of the incident light is called the Einstein equation (yellow boxes). A striking feature of the didactic transposition to high school and earned the name 'things of physics'. Here we have again the dilution of knowledge phenomenon.

We see in the 'Bohr atom' section, especially in the emphasis given to deduction of the expression for the Bohr's radius and energy the concern of the de authors in preparing students for problem solving. See the boxes 'things of physics' on its CM, Figure 4.5.7 and 4.5.8. It is observed in the "Matter Waves", fig.4.5.6, "The Atom", fig.4.5.7 and 4.5.8, and "Quantum Model of the Atom" sections, fig.4.5.9 and 4.5.10, the use of modern teaching methodologies as ICT and BLP does not mean that it must necessarily sacrifice mathematical rigor of presentation of a theory. See in Fig. 4.5.6, 7, 8 and 9, the simultaneous presence of boxes brown, yellow and violet.

Comparing the Glencoe text with the Eisberg's book structure and with the books written to the university basic cycle we can see that this resembles more the latter than the former. Note that the textbook of Glencoe program, as many modern books, complement, finalizing or motivate the subject content with experimental activities that most of the times are playful activities on the subject. See red pastel color tone boxes in Figure 4.5.6 and 4.5.10. This is one of the tools (things) that are part of the teaching methodology of a DT well performed and has no correspondence with the scientific activity. It is worth mentioning that the conceptual construction of this book allows use it in the honors level. And if we subtract the mathematical content of the text it can be used in the Academic level.

Complementing the analysis, we have that in countries where there are not enough places in the university for all candidates, we have the creation of the phenomenon of preparatory courses and the adaptation of texts written for high school

with the main purpose of preparing students for the qualifying exams for admission. Unlike textbooks such as Glencoe, it is a class of books written with a more or less standard structure that follow the structure of university books of the 70s. This structure is something like this: It begins with a historical introduction of the topic, followed by the theory with simple illustrative examples. Some have applications placed in boxes and ends with questions and exercises for the entrance exam.

Figura 2.10

**Figure 4.5.5** - Conceptual Map of the Chapters 27 and 28 - Quantum Theory – of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problems".



## Figura 2.11

**Figure 4.5.6** - Conceptual Map to the section “Mater Waves” of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problems".

**Figura 2.12**

**Figure 4.5.7** - Conceptual Map of the section “The Atom” of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problems".

**Figura 2.13**

**Figure 4.5.8** - Conceptual Map of the section “Development of Bohr Model” of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problems".

**Figura 2.14**

**Figure 4.5.9** - Conceptual Map of the section “The Quantum Model of the Atom” of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problems".

**Figura 2.15**

**Figure 4.5.10** - Conceptual Map of the section “Laser” of the book "Glencoe Science - Physics, Principles and Problem

**4.6 - RULES FOR THE ESTABLISHMENT OF THE MSSK AS AN ALGORITHMIC LANGUAGE.**

One of the objectives of this book is to demonstrate through the didactic transposition of the Max Planck article to textbooks the power of synthesis and analysis of the conceptual mapping using it as it was an algorithmic language, that is, in its generalized version denoted as maps of structure of scientific knowledge (MSSK).

Just as in a flowchart dedicated to computational algorithm we have specific symbols that define specific operations or actions, created in order to facilitate and standardize their reading, we have that we can create with the same objective symbols or specific colors for a particular mapping of concepts. This is the case of conceptual map developed to describe the conceptual

construction of a book, a book topic, a given field of knowledge or a scientific theory, as demonstrated by De Mello (2017a, 2017b). In the case of scientific theories, called here of knowledge, we have these consist of a) explanatory models; b) the core of the theory;

c) the key concepts; d) methodology; e) experimental facts and d) the application of the theory. So we are interested in determine how these concepts or nodes or links are inserted, deleted, summarized and twisted to make each text a coherent whole.

We use green boxes to identify the models. Boxes in blue to identify empirical laws, conclusions or results. We use box in Purple for theory and will put experimental facts that resulted in theory in yellow boxes. Title in aquamarine. Light blue all support material, such as equations, deductions, etc. Finally, we put in coral generalizations or universalizations theory. In this case we have no theory applications. See figure 4.6.

### **Figura 2.16**

**Figure 4.6.1** - Figure with symbolic structure of the constituent parts of an MSSK to the theory of knowledge.

On the other hand, the CM prepared according to the algorithmic rules also provide us a schematic, visual summary and ordered the ideals, concepts and everything else that makes up the article. But its colored boxes call the reader's attention to its constituent parts, so that in a first reading in addition to an overview of the text content colors allow and call the reader's attention to its constituent parts.

## **4.7 - MAPS OF THE STRUCTURES OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE, DT-CHIM DIDACTIC TRANSPOSITION OF SCIENTIFIC MODELS.**

As stated above, scientific theories are constructed from scientific models, hypotheses and theorems that are propose to explain a certain set of events. These explanations are structured around concepts, nodes or links (Latour, 1999), which allow us to understand the scientific activity (Izquierdo, 2003).

Thus, being CM diagrams of meanings, indicating hierarchical relationships between concepts or between words that represent concepts, this are the ideal tool to map as these nodes or links are prepared and organized so as to create a coherent whole and that make sense to a certain level of schooling. That is, to study how the knowledge produced to a level of schooling is transcribed to another. More details see Novak (1990) or Moreira (2005).

De Mello (2017b, 2017c) showed that in the case when the original theory was built in a paradigm revolution (Kuhn, 1970) that the theory need first be consolidated in the new paradigm before suffer a DT to the high school level. That his original explicative models must be adapt or rewritten in this new paradigm.

Next we will show that in the case where the original theory was built in an era of scientific revolution (Kuhn, 1998), that theory needs to be consolidated in the new paradigm before undergoing a DT for high school. That their original explanatory models must be adapted or rewritten in this new paradigm. (De Mello, 2016b, 2016c).

For the purpose of illustration we will make a comparative study of the theory of blackbody radiation (BBR) as proposed by Max Planck in his original article (1901) using a colorless MSSK with a MSSK<sup>15</sup>. Complementing this study we will study a textbook of Physics that proposes to teach Physics in a conceptual way and another to teach Physics to train Engineers. Finally, we will use this methodology to study the didactic transposition of the second article by A. Einstein (1905).

#### 4.7.1 - The Max Planck Quantization Theory

##### 4.7.1.1 - Quantum Physics - Eisberg (1974)

Before analyzing the Max Planck article (1901) let us see under the point of view of modern physics as the currently theory of blackbody radiation (BBR) is teaching and the subsequent quantization of cavity energy. That is, as the theory of BBR is transposed into the paradigm of quantum mechanics. We will use the Eisberg textbook (1985) named Modern Physics as reference in this study. Since this is a book aimed to training scientist and in particular to work in Nuclear and Particle Physics, he describes in detail the crucial experiments and the mathematics involved behind this theory.

We put its CM in Figure 4.7.1 to serve as a guide in the analysis of its conceptual construction. Obeying the historical facts, it introduces modern physics through the theory of blackbody radiation. Then it sets the physical phenomenon and what is meant by spectral radiance. Then it defines a "black body" as a body that emits and absorbs all radiation that strike on it. First line of CM.

Fig 2.17

**Figure 4.7.1** – CM of the Blackbody Radiation theory from the Eisberg & Resnick textbook (1985).

Then it exposes the empirical laws (Stefan law and the law of Wien's displacement) created in an attempt to describe the phenomenon. Second line in the CM. As Planck's theory is built upon the law of Rayleigh-Jeans he begins by this law and in the sequence they deduced Planck's law. All theory is built on the scientific model that in the cavity there are oscillators, atoms or molecules, which emit and absorb radiation. See the blocks in bold. So we just have to count the number of these

<sup>15</sup> Hereafter MECC means MECC elaborated in the algorithmic structure.

radiations that we have on the walls of the cavity. Using the law of equipartition of energy we obtain an expression of the intensity of radiation as a function of temperature. If we assume that the radiation in the cavity was continuously distributed we obtain the law of Rayleigh-Jeans. If we assume that the energy is discretely distributed in packages of  $h.f$  ( $f$  = frequency and  $h$  = Planck's constant) we obtain Planck's theory. The chapter ends with some applications of this theory. See blocks upright on the bottom right of the CM.

#### 4.7.1.2 - Jewett & Sears (2010) Textbook

In order to demonstrate the potential and the power of explanation and synthesis of CM built as an algorithmic language it will present CM prepared without the use of special colors, that is, clean of BBR theory from the text of Jewett & Sears textbook (2010), figure 4.7.2. The CM clean of Jewett & Sears textbook gives us a schematic, visual summary and ordered the ideals, concepts and everything else that makes up its article. We can see the difficulty in checking the presentation of experimental facts concatenate with the empirical laws and the introduction of the new paradigm, which takes place within their explanatory model. So if the reader did not know previously that it is composed of theory, models, etc. there is a great possibility that pass unnoticed any of these items that make up the knowledge and the reader could not understand in depth all its contents. See figure 4.7.2.

On the other hand, the MSSK also provides us with a schematic, visual and orderly summary of the ideals, concepts and everything else that makes up the article. Thus, in a first reading, in addition to an overview of text content colors allow and draw the reader's attention to its constituent parts. For example, when analyzing the MSSK (figure 4.7.2) we see clearly the yellow boxes (experimental facts) scattered and concatenated with the blue boxes (empirical laws) through the MSSK and in the last line as the Planck hypothesis (new paradigm) is inserted in the theory. Despite the greater emphasis given to the explanation of the experimental facts and empirical laws that resulted in the Planck Law it can be noted that this text was prepared in the same structure of the Planck article, that is, facts and experimental laws  $\rightarrow$  explanatory model  $\rightarrow$  theory. We see by the level of preparation of presentation of the theory of BBR that this book is really designed to train scientists in general.

Figura 2.18

**Figure 4.7.2** – The CM clean of BBR theory from the text of Jewett & Sears textbook (2010).

Let's look at this in detail. After a brief introduction they define the physical phenomenon of thermal radiation. See the first two lines of figure 4.7.2 (boxes in light blue). As we said earlier, the conceptual framework of this book is based on optics. Thus, it is assumed that the radiation spectrum theme is fundamental for optical applications. They use the scientific model that in the cavity there are oscillators,

charges inside the molecules, that emit and absorb the radiation to explain the phenomenon of thermal radiation. See boxes in green. In the sequence they define a "black body" as a body that emits and absorbs all the radiation that reaches it.

## Figura 2.19

**Figure 4.7.3** - The MSSK of BBR theory from the text of Jewett & Sears textbook (2010).

In the sequence they exposes the empirical laws created in an attempt to describe the phenomenon and follows the Eisberg model. See boxes in blue on lines 3, 5 and 6 in your MSSK in fig.4.7.3. They begin the chapter by Stefan's Law and then expound the Law of the Displacement of Wien and comment that the domain of validity of these laws is limited, but that both are completed. To introduce the need for Planck's Law he argues that the classical theory, that is, the Rayleigh-Jeans theory, based on Maxwell's EM, predicts that the intensity of radiation goes to infinity for small frequencies. This disagreement is termed "ultraviolet catastrophe."

As in Eisberg's text, the whole theory is built on the scientific model that in the cavity there are oscillators, atoms or molecules, which emit and absorb radiation. See Box in green. So we just have to count the number of these radiations that have nodes on the walls of the cavity. Using the law of equipartition of energy gives an expression of the intensity of the radiation as a function of temperature. If we assume that the radiation in the cavity is distributed continuously we obtain the Rayleigh-Jeans law. Box in purple.

### 4.7.1.3 - Max Planck (1901) Original Paper

For comparison purposes let's see the Max Planck 's original paper about the theory of black body radiation synthesized in Figure 4.7.4. Analyzing the Max Planck (1901) original article we clearly see the structure and the brilliance of his reasoning. That is: a) Definition of BBR and presentation of experimental facts; b) followed by an empirical law; c) attempt to write the theory into universal principles (boxes in coral); d) the model in the old paradigm, boxes in green; e) and deduction of universal law. See figure 4.7.4. Even for a reader who is not very attentive or who does not know the difference between model and physical theory, the color code that discriminates these concepts jumps into the eyes of the reader.<sup>16</sup>

Let see it in more details. First, we need to remember that in 1901 we had the classical mechanics and Maxwell's electromagnetism as mature sciences. Thus, in 1901 only had empirical laws and a 'classical' theory that is forged within the current paradigm to explain the spectrum of blackbody radiation. This theory is the law of Rayleigh-Jeans. For his theory was accepted by the scientific community it should be constructed using scientific concepts accepted by them. These are: entropy, internal

<sup>16</sup> We put the concepts in the form of formulas to reinforce the character of Physical theory.

energy, temperature and the model of molecules as harmonic oscillators. See central column in the fig. 4.7.4.

So it begins exposing experimental facts and the Wien and his own attempting to find a universal law that describes the behavior of the spectrum of blackbody radiation. See the two first lines of the CM in Fig.4.7.4. Apparently he did not know the law of Rayleigh-Jeans. Then he argues that to replace the erroneous argument in the deduction of the Wien law he must find the universal dependence of the entropy  $S$  and the internal energy of the system  $U$ . So it says that the distribution of energy in the normal spectrum is completely determined when calculating the entropy  $S$  of a vibrant resonator radiation, monochrome as a function of its vibrational energy  $U$ , which is the centerpiece of your model.

To find the mathematical expression of his Universal Law he uses the kinetic theory of gases of Boltzmann to find a single expression for  $S$  (Chapter 1 of the article, see CM). That is, he needed a model of atoms or molecules as particles oscillating within the blackbody cavity. It should be noted that in 1901 Boltzmann's theory quoted above was not fully accepted, being the target of severe criticism by the philosopher of science Ernst Mach and others (Videira cited in De Mello, 2016b). The consolidation of the theory would only occur in 1905 through the second Albert Einstein's paper (De Mello, 2016b).

## Figura 2.20

**Figure 4.7.4 - CM of the Blackbody Radiation theory from the Max Planck original paper (1901).**

Contrary to what is said in the textbooks, he introduces the quantization of energy in hypothesis 3 of Chapter 1 when he reinterprets the meaning of entropy function  $S$ . In chapter 2, through the Wien Law, it gets the universal expression between the temperature  $T$  and the energy density  $u$  and then between  $S$  and  $T$ . See line Chap.2 in CM. At that moment it uses the  $E = h \cdot f$  condition in  $S$  calculation as a function of total energy  $U$ . Thus, it gets the mathematical expression for the energy distribution of the BBR spectrum, known as the Planck equation for the BBR. Another important fact is that despite the Planck constant being a universal constant it is derived from the Boltzmann constant,  $h = k \cdot 4,866 \times 10^{-11} \text{ J / K}$ .

Thus we see, that the paradigm transposition made by the scientific community is summarized basically in replace the model of finding a universal function for the entropy  $S$  of radiation of a resonant vibration, monochromatic as a function of its vibrational energy  $U$ , by obtaining the total energy in the cavity simply counting the number of EM waves within the CN cavity, and assuming that energy is quantized. We see in this case that the role of scientific model is to provide support to the theory and is based on experimental data. But that can be taken from his explanation, as we shall see.

### 4.7.1.4 - Physical Principles, vol.4 - Serway & Jewett (2006)



This other book, written by the same de authors, is a book written for the basic course in science in general, but that can be used in engineering courses. It has the same structure as the earlier book, but the text is more succinct. As can be seen in its CM, Figure 4, they omit the explanation of the physical phenomena of thermal radiation (first line in the Figure 4.7.5). After a brief introduction they define the physical phenomenon and what is meant by spectral radiance. Then it defines a "black body" as a body that emits and absorbs all radiation that strikes it. In this text they present Planck's law as in the previous text, through the experimental facts, but omit the deduction based on the Rayleigh-Jeans theory. See the absence in his CM, Figure 4.7.5, the sixth row of Figure 4.7.3. The chapter ends with some exercises.

We see here that they do not make any observation on the model used by Planck and that DT is made entirely on the paradigm of quantum mechanics.

#### 4.7.1.5 - "University Physics with Modern Physics" - Young & Freedman (2008)

As another example of didactic presentation of the theme was chosen the textbook "University Physics with Modern Physics" of the de authors Young & Freedman (2008), because it presents the topic in detail and this does not expose the Modern Physics respecting the chronological order of scientific discoveries. Despite this use the same scientific model that Eisberg (quantum paradigm), this uses another methodological construction in your text. They abandon the structure: Definition → experimental facts → model → theory → applications.

As can be seen in its index the topic "Black Body Radiation" is treated in "Continuous Spectrum" that is found within the chapter 38 called "photons, electrons and atoms". Another interesting fact to note is that it divides the section into two parts: discrete and continuous spectrum. See De Mello (2016a). So it introduces the quantization of energy through the photoelectric effect and not through the BBR, following the current pedagogical tendency to present the energy quantization within the context of that matter and energy are two sides of the same coin. They introduce the theory of Planck when they explain spectrum of x-ray.

This begins by the fact that every heated body emits EM radiation. Then they build the model that radiation originates from accelerated charged particles that are close to the surface of the body that give rise to continuous EM spectrum. See CM in Figure 4.7.6. After it they define the BBR and pose the problem of understanding this radiation. They follow exposing attempts to formulate laws for this phenomenon. Ends building Planck's law using the cavity resonators model and using the postulates of radiation quantization in the cavity.

Thus, comparing the text of the book "Young & Freedman" with the text of the book "Eisberg & Resnick" and with the Planck article it becomes clear that the didactic transposition of the BBR theory is made from the texts written for the academic level physics course and not from original articles.

## Figura 2.21

**Figure 4.7.5** - MSSK of the Blackbody Radiation theory from the Serway & Jewett textbook (2010).

If we look at some textbooks as the "Fundamentals of Physics" of Halliday (1997) it can be seen that they introduces the quantization of energy through the theory of the photoelectric effect and neither addresses the theory of BBR. See De Mello (2016a). Currently only some texts of the basic cycle respect the chronological order of scientific development.

In many textbooks as well as teach classes of Quantum Mechanics the theory of Max Planck quantization is presented, undergoing a DT, as being simply an ad hoc assumption made by Max Planck (1901) to explain the spectrum of blackbody radiation (BBR). There is no exposure of explanatory models nor experimental facts that resulted in the theory<sup>17</sup>. For example, the book Fundamentals of Physics (Halliday, 1997). That is,

$$E = h \cdot \nu$$

Comparing the MCs of the Planck article and the Eisberg chapter, and keeping in mind (according to SCT) that the physical model is only a mental construct to make a predictive theory (Hesse, 1963) it is observed that what is theory for the quantization of the radiation of the blackbody cavity, that is, what does not change with the evolution of science, is the hypothesis that the energy absorbed or emitted by the oscillators of the CN cavity is quantized.

## Figura 2.22

**Figure 4.7.6** – CM of the Blackbody Radiation theory from the Young & Freedman textbook (2008).

### 4.7.1.6 - Glencoe Program (2005) “Physics Principles and Problems”

Let us analyze one textbook used in American high school: the book "Physics Principles and Problems" of the Glencoe program. We can see in their CMs, figure 4.7.7, his pedagogical project is all grounded in three pillars: 1) Introduction to the theme through the experimental problems (connecting word “puzzle” in brown) that afflicted the scientists at that time; 2) presentation of the theory by describing an experiment rather than the detailed description of the scientific model (bold box); 3) finalization through technological applications.

---

<sup>17</sup> Because of the tradition we use the name Theory for all this body of knowledge. When appropriate we will use the word knowledge as defined by De Mello (2017d).

This introduces the energy quantization in the "incandescent body radiation" section without addressing the BBR. See your MSSK in Figure 4.7.7. He motivates the text with the central issue at the time of Planck which was to understand the dependence of the intensity and frequency of radiation emitted with the temperature, which could not be explained by classical EM theory. See bold Box called puzzling. Using the example of light spectrum variation of an incandescent bulb they define the dependence between the total power and the maximum amount of energy emitted by the filament. They introduce the energy quantization hypothesis through the fact (still valid today) that we can only explain the shape of the curve of the intensity of radiation from the blackbody if we assume, as Planck, that atoms emit radiation only when the vibrational energy varies discreetly of multiples of  $h \cdot f$ . Note that in the text appears only the Planck's theory without mention the previous one, and that they does not define explicitly the physical model of atoms vibrating in the metal surface.

Again, we can see that the didactic transposition of the BBR theory is made from the texts written for the academic or basic level physics course and not from original articles.

Figura 2.23

**Figure 4.7.7** – MSSK of the Blackbody Radiation theory from the Glencoe Program (2005)

## 5 - THEORY OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE

What we have done above was to demonstrate that the use of CM as an algorithmic language to perform the study of DT or the Theory of Knowledge (TC) constitutes a scientific methodology. That this methodology, along with the DT-CHIM theory, constitutes a theory of knowledge, which is the main objective of this article. As an example of application of this theory of knowledge and its methodology, we will present below the study of the didactic transposition of the second article of A. Einstein to the textbooks. That is, as through this DT the theory of the photoelectric effect (EF) becomes a pedagogical fact. More details see De Mello (2016d).

### 5.1 - Albert Einstein Original Paper (1905a) - On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light.

As previously stated (De Mello, 2015b) the Modern Physics is originated as a break with the thought or paradigm (in the sense of Kuhn) of the classic physics and with the electromagnetism (EM) of Maxwell. Thus, in its second paper Einstein (AE)

needs to demonstrate that there is a profound difference between physical phenomena called physical optical and the geometrical optics. See the three first lines of boxes in its CM, Fig. 5.1.1. That these two classes of physical phenomena should be studied as physical events governed by laws very distinct. At first we would have to consider the light as particles whose laws are governed by the laws of classical mechanics and in the second case the light should be considered as a wave and governed by the laws of the Maxwell. But, he draws attention to the fact that these phenomena of Optical Physics are temporal average and not instant measures so that this distinction appears only when we interact with the EM radiation. In this way we have a separation between the two classes of physical events classified as optical physics and geometrical optics.

We said earlier that this article is a direct consequence of the work of the Max Planck or Herr Planck, as Albert called Planck. Thus, Einstein needs to demonstrate that the model of Planck (1901), based in obtaining an expression for the entropy of radiation in the cavity of a blackbody, is a universal model. See the boxes in green in the CM. That is, it is not just a mathematical device, and that this can be generalized for any type of interaction between radiation and the matter.

We see in the CM of his article, that this begins by stating that there is a fundamental difference between the kinetic theory of gases and the Maxwell EM. These theories represent two very distinct physical models and irreconcilable. That EM energy is distributed discontinuously in space. Then, to justify this 'apparent' dichotomy he affirms that the phenomena of optic physics are temporal average and not instant measures. In this way we have, for the first time, a separation between the two classes of physical events classified as optical physics and geometrical optics. With this he justifies the construction of a model of particles to explain the physical phenomena called geometrical optics and which cannot be applied to radiation in general. We see then in this CM, fig. 5.1, that as observed by the theoreticians of the 'theory of Cognitive Science' (Nesserssian, 1992), that by similarity Einstein will generalize the theory of Planck (1901) to generate a model of particles to explain the phenomena of the interaction of radiation with the matter. Thus, in Chapter 1 he begins by constructing the model for the radiation in the cavity of a black body (BB) as being produced by oscillation of electrons in the walls of that cavity. Boxes in green. Using the model of the kinetic theory of gases he rescues the equation to the density of radiation of Planck and shows that the energy obtained by the sum of the power density for all frequencies would be infinite. This implies the non-existence of Ether. Notice that this is very important in the construction of the particle model. Therefore, the existence of ether implies the existence of a material means to the propagation of EM waves. This is, would imply that the Light or EM radiation should be a wave.

Note that the non-existence of Ether in the history of science is associated with the theory of relativity, especially to the experiment of Michelson and Morley, not to the postulate of wave-particle duality. This is due to the fact that in general the major 'breakthroughs' of physics are associated with experimental facts and not with models or assumptions. Maybe that's responsible for the fact that the epistemological importance of physical models in the construction of Physical theories has stayed in the background until now.

In chapter 2, it shows that the Planck equation obtained in the low frequency limit, using the assumption that energy is quantized in Black Body (BB) cavity, falls within the Maxwell EM radiation model, or the continuous spectrum model, see fig. 5.1.1. As Einstein said in his other Article (1905b), a new theory must explain the previous theory within its limits of validity.

## Figura 2.24

**Figure 5.1** - CM from the original article "Albert Einstein 2nd paper"

In chapter 3 Einstein shows that the BB Radiation Law can be obtained directly from the application of variational principle to entropy function for radiation within the cavity, universalizing this model. see fig. 5.1.1.

In Chapter 4 he demonstrates that the formula of Wien is equivalent to a model of ideal gas for the radiation, given by the Boltzmann's equation for the entropy. Thus, he concludes the model.

In Chapter 5 he proves that the Theory of Boltzmann is universal, legitimizing its entire epistemological construction, see box in coral color in fig. 5.1.1. We see here that in this article Einstein not only generalizes the ideas of Planck for the quantization of radiation of BB, but he also universalizes the Boltzmann model. Here we have the genesis of statistical mechanics.

In Chapter 6 he shows that, for low densities of energy, the application of the theory of Boltzmann to the radiation of the cavity of BB implies that the energy in the cavity is quantized - The Theory. Box in purple. This energy is given by

$$E = R\beta v/N$$

Where  $\beta$  is the Boltzmann Constant,  $v$  is the frequency of light and  $R$  is the ideal gas constant, see fig. 5.1.1. This equation is better known by the equation  $E = H \cdot v$ , where  $h$  is the constant of Planck.

As the own Einstein said, a new theory must explain experimental facts that the old theory cannot explain. As we said earlier, Hesse (1963) states that scientific models allow a theory to be predictive. Thus, in the sequel he will apply their model of particle for EM radiation to explain the Stokes rule for the phenomenon of emission and absorption of the fluorescent rays, Chapter 7. In Chapter 8 he will apply the model to explain the photoelectric phenomenon, and in the ninth to explain the phenomenon of ionization of gases by ultraviolet rays. See boxes in yellow in Fig. 5.1.1.

Finally, in Chapter 8 he applies his theory to explain the photoelectric phenomenon. For this reason he builds a model for interaction of the radiation with the matter, where he applies his quantization of radiation hypothesis. Box rectangular in yellow. From this model and the conservation of energy he obtains the linear dependence between the kinetic energy of the ejected electrons with the radiation frequency of the incident light. This explains the experimental data obtained by Lennard.

## 5.2 - Quantum Physics - Eisberg and Resnick (1985)

Let us see below as this epistemological construction was transposed in general to the text books. We will use the textbook 'quantum physics' of the Eisberg and Resnick de authors as textbook default prepared for the bachelor level of education to the Physics course.

We did the CM, fig. 5.2, for the section that deals with the theory of the photoelectric effect. The structure of their modern physics texts is something like this: a) present the experimental results and the fact that they contradict the classical theories, gray boxes in the CM, fig. 5.2; b) then the theory, purple boxes; c) finally applications (boxes in blue) and when there are generalizations or universalizations (boxes in coral). And in the case of the PE the scientific model was developed in the previous section, BBR, so it does not appear in the text.

We can see in their CM that to make the didactic transposition of the theory of the photoelectric effect the de authors claim that Einstein generalized Planck's hypothesis of energy quantization. But they say nothing about it was Einstein who universalized Planck's theory, and deduced an expression to the Planck constant ( $h$ ) by defining a function for entropy according to the Boltzmann and from ideal gases constant. Purple boxes. As in many other examples of didactic transposition, certain constants earn name and own importance. For example, the Young's modulus. We believe that due to the definition of a function for the entropy be unnecessary for the explanation of the EF, the relationship between Planck's constant and Boltzmann constant be omitted in all textbooks.

Figura 2.25

**Figure 5.2 - CM from the PE topic of the book Eisberg & Resnick**

Part of the ideas developed by Einstein in his article is used in the development of the chapter on BB radiation, but without any citation to this. See Reference (De Mello, 2015). Here we see that there is no citation that this model implies the absence of ether, not even in the chapter on the BB theory of radiation.

Here we see as the first version of this book was written at the end of the 1960s and beginning of the 1970s, where the Quantum Mechanics was already accepted 'universally' as Physics theory, that all the conceptual development that Einstein did to show that for low frequencies the Boltzmann theory applied to BB radiation falls on Maxwell's theory for the EM radiation, was deleted from the development of this section and the book. See purple boxes in Fig. 5.2. Also, there is no citation that was in this article that the theory of Boltzmann won the character of universal theory, since at this time the statistical mechanics already had the status of theory and in many universities was considered one of the physics course discipline. They briefly comment the corpuscular model created by Einstein to explain the dual behavior of EM radiation to mention that 'Experimental measures are time averages involving a very large number of photons'. Omitted in the CM.

We see in the first box of your CM and in its connections, fig. 5.2, that the whole basis of the theory of the photoelectric effect of EA is in the detailed description of the experimental facts obtained by Lennard and on the fact that the classic model, based on

the theory of Maxwell, is not in accordance with these facts. Firsts grey boxes. As the theorists of Cognitive Theory of Sciences say: AE's theory is a theoretical model constructed to explain the EF on the basis of similarity with the experimental data available for a given physical phenomenon. We can also see that the book of Eisberg is a book written to train scientists, that is, always presents firstly the experimental facts and only after the theory that explains. For this reason they anticipate the experimental data, or linear dependence between the frequency of light and the cutting potential. (Millikam)

By comparing the CM from AE 2<sup>nd</sup> paper and the chapter of Eisberg, and bearing in mind (according to the CTS) that the physical model is only a mental construction to make a predictive theory (Hesse,1963), it is observed that what is theory to the phenomenon of photoelectric effect, that is, what does not change with the evolution of science, are the hypotheses: 1) a photon is absorbed completely and instantly by a single electron; 2) by conservation of energy the electron ejected with greater energy will have kinetic energy equal to the difference between the energy of the absorbed photon ( $H.V$ ) and the function work  $V_0$ . That is, the equation

$$E_k = H.V - V_0 \text{ (Joule)}$$

Along with the 1<sup>st</sup> hypothesis explain all experimental facts, without the need for any model.

### 5.3 - Books Written to the Basic Cycle

#### 5.3.1 - The Physical Principles of De Authors Serway & Jewett (Serway & Jewett, 2006).

As example of Modern Physics (FM) text writing to exact science course and that follows almost the same structure of Eisberg we have the book Principles of Physics of de authors Serway & Jewett (Serway & Jewett). We have in figure 5.3 its CM. These present the experimental results and the fact that these contradict the classical theories; the 1st boxes in gray. Then they expose the model, green boxes. In sequence the theory, purple boxes; and finally applications (boxes in blue).

Figura 2.26

**Figure 5.3** - MSSK from the topic of the book EF Serway & Jewett

By comparing the CM of Serway book with those of AE 2<sup>nd</sup> paper and with the book of Eisberg we observed that the DT for the PE is made from the text of Eisberg and not from the original Einstein paper. With the exception of the order of presentation of some topics they address the same concepts. Basically the great difference between them is in the greater emphasis given by de authors Eisberg and Resnick in the review and description of the experiment and in the experimental data that have led to the formulation of the theory of PE. For this reason they anticipate the experimental data, or linear dependence between the frequency of light and cutting potential. They comment briefly the corpuscular model created by Einstein to explain the dual behavior

of EM radiation by noting that "Experimental measurements are time averages involving a large number of photons'. Omitted in the CM.

These also omit a) the fact that it was Einstein who universalized Planck's theory, b) and deduced the expression of Planck's constant  $h$  as a function of Boltzmann constant, by defining a function for entropy from a model of ideal gases. Nor does any citation that this model implies the absence of ether. Not even in the chapter on the theory of radiation of BB. Neither cites the conceptual development that Einstein done to show that for low frequencies the theory of Boltzmann applied to radiation of BB lies in the theory of Maxwell. See Fig. 5.3. Also there is no citation that was in this article that the theory of Boltzmann won the character of universal theory.

### **5.3.2 - Physical IV: 'Optics and Modern Physics' of the Authors Young & Freedman (2008).**

The second book chosen is of the de authors Young and Freedman. As discussed in another article (De Mello, 2015a) it chose this book for having a very different structure of the Eisberg book. See De Mello (2014). Due to the very particular characteristics of the theory of the photoelectric effect this topic is very similar to the other texts. Due to this text presupposes that the students (reader) already know what the PE is, they change the order of presentation of the model with experimental facts. So, they begin this section by defining what is PE through the model of interaction of the radiation with the matter, and exposes in sequence the experimental facts. See the green box in Fig. 5.4. After, the text does not differ in almost nothing from the Eisberg. In sequence they present the experimental results and the fact that they contradict the classical theories, gray boxes in the CM, fig. 5.4. Then, they expose the theory, purple boxes, its applications (boxes in blue) and the generalization or universalization (boxes in coral) that all EM radiation is quantized. And they finalize this section with the relativistic definition of momentum of a photon due to the fact that they need this later. They, like all texts for university basic cycle, do the same omissions that the above texts.

Here again we have the same basic building blocks of scientific knowledge: Facts and experimental laws  $\rightarrow$  empirical laws  $\rightarrow$  explanatory model  $\rightarrow$  theory  $\rightarrow$  generalization. Comparing Einstein's article and the three (3) texts we see how MSSK facilitates the graphical visualization of these blocks and how they were arranged throughout the text.

Figura 2.27

**Figure 5.4** - CM from the topic of the book EF Young & Freedman

### **5.4 - Book Written for the Middle School - Physics Principles and Problems - Glencoe Program (2005).**



This book (Glencoe) was chosen because it is a very used text in middle school of United States of America and its use the “based learning problem” as learning methodology. This topic, like many others, does not use any scientific explanatory model to illustrate the theory. As the text of blackbody radiation, they introduce the topic through an experimental puzzle, green lemon box:

*When ultraviolet radiation was incident on a negatively charged zinc plate, the plate discharged. When ordinary visible light was incident on the same charged plate, the plate did not discharge. This result was contrary to electromagnetic theory.*

Figura 2.28

**Figure 5.5** - CM from the topic of the book EF Glencoe

Then they make a detailed experimental description of PE. The main PE characteristics they stress are: (a) cutoff potential energy and b) instant emission of electrons. Then they argue that these facts cannot be explained by classical EM theory. And involving the assumption that light is composed of quantum of energy and introduce the concept of photon, see figure 5.5.

Note that they do not expose the PE model. They go directly to the theory. See boxes purple. But they draw attention to the fact that AE generalized the Max Planck concept of quantization of energy for all types of EM radiation. See box in coral.

Then they expose as the theory of PE of AE explains the phenomenon of cutoff potential, see CM in fig. 5.5. They complete the chapter by testing the theory of EF through some of its applications. See blue boxes, fig. 5.5. They shall finalize the theory by defining the cutoff potential energy through the Millikam experiment. See purple boxes, fig.5.5.

Thus, this book is a DT of the books written for higher education and not from scientific articles, as the other books written for the middle school. See Fig. 5.5. These also omit the fact that it was Einstein who universalized Planck's theory. That deduced the expression of the constant Planck in function of Boltzmann Constant through the definition of a function for the entropy for ideals gases. Nor does any reference that this model implies in the absence of ether. Not even in the chapter on the theory of BB radiation. Neither cites the conceptual development that Einstein done to show that for low frequencies the theory of Boltzmann applied to BB radiation lies in the theory of Maxwell to the EM radiation. See Fig.5.5. Also there is no citation that was in this article that the theory of Boltzmann won the character of universal theory.

Note that the PE physical model is diluted in the text, which shows us that the de authors give much more importance to physical phenomenon than to their explanatory model. Confirming that the physical model is part of the theory explanation and is not the theory itself, as stated by the CTS.

## CHAPTER 7 - RESULTS AND CONCLUSIONS

As previously mentioned, the simple analysis of the contents of the topics of Modern Physics does not allow us to visualize the conceptual construction that the de Mello or de authors used to write their text. It just allows you to check the sequence that the themes are introduced. But, through the making, following well-defined criteria, and subsequent analysis of the CM of a given field of knowledge, we can see how the concepts were introduced, as were partitioned throughout the text, and as the de Mello or de authors have used to support or only introduce other concepts.

Without key words or key concepts connection we could not understand as the concepts are sometimes anticipated, sometimes postponed, and sometimes partitioned in order to base the contents to be taught. If we only had the flowchart of the text we would not have the connections between concepts and not would notice how they interrelate.

The importance of using CM in the textbook analysis is not very evident through the analysis of Eisberg and Serway texts. This importance is emphasized when we make a comparative analysis with the Sears book. We see in its CM as key concepts were introduced, anticipated and often partitioned. After studying its CM we noted the difficulties that the de authors found to write an original text and that were built under the optical point of view.

When analyzing a CM built to a text of Modern Physics topic for high school, we can see how this content was being diluted and adapting to reach that level. As the de authors or agents determinants of how the scholarly knowledge is transposed into knowledge to be taught reformulate it to be taught in the classroom. As the necessity to develop math skills will generate the 'things of physics'. We also see that when in the educational project of teaching the de Mello's uses the TICS or project-based learning methodology that the DT is made, in most cases, from the physics texts for graduate or professional level than from scientific articles.

The use of CM in the classroom of a postgraduate course in physics or in science teaching becomes a powerful tool in determining how the didactic transposition occurs. It makes clear how the de authors of textbooks introduced and highlighted some concepts to be collected and evaluated and how other concepts are being rejected or filtered. It is a very powerful tool demonstrates that the science produced in the academy is very different from the science to be teaching (Science Theory Theaching).

It has been shown here that CM is the natural and most effective tool for making an analysis of how the concepts, propositions, theorems and explanatory models are used to construct a certain theory, as well as to make the study of how this is transcribed didactically. Through the analysis of how the theory of Blackbody Radiation of M. Planck and the photoelectric theory developed by Einstein on his 2nd article was transposed to the textbooks, it was shown that CM is a tool, an algorithmic language, very efficient and succinct to present and describe as an original conceptual framework is implemented didactically in different types of textbooks. It was shown that for an expert in cognitive science theory the simple study of CM, designed for a given theory and done within certain strict rules, is sufficient to understand its conceptual framework. It could be seen as each de Mello has organized and merge concepts (nodes or links) to form a coherent whole.

Through this study it was possible demonstrate that we present to the students, making a DT, some reconstructed facts, theoretical models, arguments and propositions that were previously selected. We show again (De Mello, 2015b) that in most cases the theoretical models, or scientific models, are adjusted and/or modified for the level of understanding of the students. And over time these models will be perpetuated so that teachers teach the DT science as this was the truth.

Showed again that the DT not occur entirely within the classroom or in the "professor's office." By making CM to texts written to train scientists, to train engineers and other written with well defined teaching methodologies (Glencoe), we observed that the DT for the BBR as for the PE is strongly influenced by this fact. That is, currently the DT of a given scientific knowledge is carried out in the university or epistemosphere and not directly to the high school. And this is done within standards set by the teaching methodology employed.

It follows that, for educational purposes, scientific models are no longer the centerpiece in the development of a given theory. It is noted here that in Eisberg and in the Jewett texts the experimental facts stand out the model. In the text of the Sears stronger focus is given to the model of interaction of radiation with matter than to the experimental facts. In the Glencoe text is given greater importance to the problem of understanding the experimental facts, the problem or project, secondly to its technological applications and briefly explains the model of interaction of radiation with matter.

It is demonstrated here the thesis of Latour (1999): what school science and the science of the scientists have in common is that their ideas, their theoretical concepts, were arrested and sealed inside of black boxes after having gained importance and after they become more "solid" and "strong". That is, after "consolidated". Izquierdo (2003) proposes, as demonstrated here to the case of PE and in De Mello (2015b) for the theory of BB radiation, that such packaging process leaves out details, explanations and reasons which before were necessary to convince others of its "original power explain" (both to the scientific as to the didactic level).

Izquierdo-Aymerich and Aduriz Bravo (2003) argue that what we know about the model as a didactic concept, how and where it appears in the curriculum, why and how he transforms, etc., is also limited, because we really do not know much about his "history" as a didactic element both in chemistry and in physics teaching. But, if we limit the study to the conceptual framework of a certain theory, we can create rules using CM (De Mello, 2015) to see how they were being transcribed, suffering a DT, to acquire the presentation form of the bachelor level. From this to the basic cycle and from this to high school.

Moreover, it is possible that teachers think: a) that a given theory (e.g. PE) has always been present in textbooks; b) that reflect not only the true scientific knowledge, but as this "is" really done. This results that they end up giving more weight to the value to the truth of the model than to the theory (Izquierdo-Aymerich, Aduriz and Bravo, 2003). Due to its relative ease of suffering a DT, as for example: capacity to generate problems and/or mathematic simplicity, makes certain concepts such as the atomic model, the PE, the BB radiation, so powerful within the science of school narrative.

Thus, currently, to make a didactic transposition the professional in the teaching of sciences must have in mind what are the scientific models involved in the construction of a certain conceptual theory, its relevance in the theory and the impacts on these if this model is modified, simplified and/or deleted. That is, a specialist in DT must be able to define the changes that the scientific model must suffer and which metaphorical models may dispose, so as to make a proper DT for a given level of understanding, without sacrificing the veracity of the concepts involved. And to ensure a meaningful learning (Ausubel, 1977) the educator must have in mind what would be the alternative concepts of the learners and how to make the bridge to the scientific concepts.

By remembering that behind traditional symbols of physics such as  $s$ ,  $v$ ,  $t$ ,  $F$ ,  $h$ , etc., there is a whole body of content and concepts that can be used now as words of connection or as concepts in a concept map. The same is true for quantities derived from these as functions, equations, names of theories and models. As these ideas have not yet been widely accepted in the scientific community, we will now call these as maps of structures of scientific knowledge (MSSK).

Here it shows the advantages of creating rules to the construction of concept maps with the use of color coding when analyzing the conceptual construction of science theories. We need here to generalize here the usage of CM to use functions, equations, physics symbols, etc. as connecting word or concepts. From these rules we provide the CM with an algorithmic structure so that we denominate it in the text as MSSK, to distinguish it from the CM prepared without the use of this structure.

With the use of MSSK we were able to show as the knowledge produced in the academic spheres will suffering a DT, that is, is transformed and diluting to get to school class (sphere). Using CM as an analysis tool for the study of knowledge we reduced the degree of subjectivity of this analysis and make it easy to identify, classify and order the elements of a given knowledge or theory, as we are accustomed to call.

The CM in the form of algorithm (MSSK) will indicate which sequence the de Mello entered, organized and braided the component parts of his theory (knowledge). Moreover, MSSK analysis done for a particular book allows you to view how these concepts (or nodes or links) are inserted, deleted, summarized and twisted to make each text a coherent whole (De Mello, 2017a, 2017b and 2017c). Used in a comparative analysis it allows you to check: a) as explanatory models are adapted, simplified and deleted; b) how knowledge of the contents are transposed into a teaching methodology of science, suffering a didactic transposition; c) when and how knowledge is implemented and consolidated in a new scientific paradigm.

It was demonstrated that in studying or evaluating a text whose content is the epistemological and pedagogical construction of a theory belonging to Physics one can use symbols and names of the laws of Physics in the construction of a graphical representation of this in the form of a map of the structure of scientific knowledge (MSSK). Through the study of MSSK done for a science textbook a physics teacher can determine if it was elaborated in a more conceptual manner, that is, if it omits certain mathematical demonstration or not, without the necessity of reading it. This is very important in the convenient choice of textbook for an exact course.

We see above that MSKS is the ideal tool to make the study of how scientific knowledge is transposed to all spheres of knowledge, that is, at all levels of knowledge. This provides a very effective scientific methodology to make the study of the implementation of knowledge.

The DT-CHIM theory provides a general guidelines and rules to determine why certain scientific knowledge perpetuate and update in the school spheres. It also provides rules on how to classify the DT and how it should be done.

The MSKS together with the theory of DT-CHIM is a very effective tool to classify, analyze and summarize how scientific knowledge is developed, formulated and transcribed to educational spheres. That is, to classify pedagogical facts.

With the DT-CHIM together with the scientific methodology using MSKS we obtain a very effective way to make the study of how scholar knowledge is transformed in scientific environments. They become a science of knowledge.

The generalized CM prepared according to the algorithmic rules provides us a schematic, visual summary and ordered the ideals, concepts and everything that makes up an article and / or book. The colors call the reader's attention to its constituent parts, so that in a first reading in addition to an overview of the content colors of the text, it allows and calls the reader's attention to its constituent parts. What would be more difficult if only we had the MSKS without color code. If the reader does not know in advance that a given knowledge consists of theory, models, etc. there is a great possibility that pass unnoticed any of these items, and that the reader does not understand in depth all its contents.

Like any field of scientific knowledge, especially human, this is very dynamic and challenging. So that the DT-CHIM presented above should be considered within its scientific and pedagogical actuality. They are based on years of work by researchers like Chevallard, Izquierdo, Pietrocolla, Johnson-Laird, Nersessian and others.

Although De Mello have achieved through the analysis of textbooks using as a tool conceptual mapping prove some of the ideas proposed here, there may be the need to include, replace or reformulate some of these. It follows, therefore, that the study of pedagogical facts using the DT-CHIM together with the methodology of science MSKS is a consistent theory of knowledge.

## CHAPTER 7 - REFERENCES

ALONSO, M. & E. J. Finn. **Fundamental University Physics, vol.3.** Addison Wesley Publishing Company. 1968

ARCHELA, R.S; Grato, Lucia Helena B.; TrosDTorf, Maria AS. O lugar dos mapas mentais na representaçao do lugar. **Geografia**, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2004.

AUSUBEL, D. The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. **Educational Psychologist**. Volume 12, Issue 2, 1977.

AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva** (1ªed.) Lisboa: Plátano Editora. 2003.

BROCKINGTON, G. e M. Pietrocola, M. - Serão As Regras Da Transposição Didática Aplicáveis Aos Conceitos De Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências** – V10(3), pp. 387-404, 2005.

BURCH, Sally. "**The Information society–the knowledge society**". PEUGEOT, Valérie et al: 49-71, 2006.

CARNEY, R.N., and J.R. Levin. "Pictorial illustrations still improve students' learning from text." **Educational psychology review** 14.1: 5-26, 2002.

CAREY, S. - "The origin and evolution of everyday concepts." **Cognitive models of science** 15: 89-128, 1992

CHEN, L. Integrating Cloud Computing Services Using Enterprise Service Bus (ESB). **Business and Management Research**. Vol. 1, No. 1, 2012.

CHEVALLARD Y. Un exemple d'analyse de la transposition didactique. **Recherches en didactique des Mathématiques**. Vol.3, 1982.

CHEVALLARD Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. *La Pensée Sauvage*, Argentina, 1991.

CHIBENI, S.S. - **Síntese de A Estrutura das Revoluções Científicas, de Thomas Kuhn**. 2015. Disponível em: <http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/structure-sintese.htm>. Acesso em: 12/07/2017

CLARK, Ruth C., and Chopeta Lyons. **Graphics for learning: Proven guidelines for planning, designing, and evaluating visuals in training materials**. John Wiley & Sons, 2010.

CLEMENT, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students: Preconceptions in Physics. **Journal of Research in Science Teaching**, 30(10), pp. 1041- 1057, 1993.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, 75(6), pp. 649-672, 1991.

DUSCHL, R.: **Restructuring Science Education**, Teachers College Press, New York, 1990.

R. EISBERG E R. RESNICK - **Física Quântica**; Ed. Campus. 1ª Ed., 1974.

EINSTEIN, A. - On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light. **Annalen der Physik** 17 (6): 132–148, 1905a.

EINSTEIN, A. - On the Electrodynamics of Moving Bodies. **Annalen der Physik** 17 (8): 549–560, 1905b.

ERNST, Dieter, and Linsu Kim. "Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation." **Research policy** 31.8: 1417-1429, 2002.

FLICK L. 'Where concepts meet percepts: stimulating analogical thought in children'. **Science Education** 75(2), 215–230. 1991.

GENTNER; Holyoak; Kokinov. **The analogical Mind**. Perspectives from Cognitive Science, 2001.

GIERE, R. **Explaining Science. A Cognitive Approach**. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

GLENCOE SCIENCE. **Physics, Principles and Problems**. The Mc Graw-Hill Companies, Inc. 2005.

GRANT, R.M. "Toward a knowledge-based theory of the firm." **Strategic management journal** 17.S2: 109-122, 1996.

Grift WT. Factors affecting performance in introductory physics courses. **American Journal of Physics**. 53(839): 839-842, 1985.

GUIMARÃES, CC. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química nova na escola**, Vol.3, N-3, 2009.

HACKING, I.: **Representing and Intervening**, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

HALLIDAY R., Resnick R. & Walker J. **Fundamentals of Physics(5<sup>th</sup> Ed.)**. U.S.A., Ed. Jhon Wiley & Sons, 1997.

HARRISON, AG. & Treagust, DF. Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry. **Science Education**, 2000.

HARRISON, AG. & Treagust, DF. Modelling in Science Lessons: Are There Better Ways to Learn With Models. **School Science and Mathematics**, 1998.

HARVARD PROJECT. Uma conversa com Gerald Holton. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, V. 23, N. 3: P. 315-328, Dez. 2006.

HESSE, M. B. **Models and analogies in science**. London: Seed and Ward, 1963.

Hudson HT. and Dov Liberman. The combined effect of mathematics skills and formal operational reasoning on student performance in the general physics course. **American Journal of Physics**. 50(12): 1117–1119, 1982.

INGHAM, A. 'The use of analogue models by students of chemistry at higher education level'. **International Journal of Science Education** 13(2), 193–202, 1991.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. Hacia Una Teoría De Los Contenidos Escolares. **Enseñanza de las ciencias**. 2005. Disponível em: <<http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v23n1/02124521v23n1p111.pdf>>. Acesso em: 12/11/2014.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. & Adúriz-Bravo, A. - Epistemological foundations of school science. - **Science & Education**, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Pg. 23, 2003.

IZQUIERDO-AYMERICH, M., Sanmartí, N. & Spinet, M. Fundamentación Y Diseño De Las Prácticas Escolares De Ciencias Experimentales. **Enseñanza De Las Ciencias**, 17 (1), 45-59, 1999.

JEWETT Jr, J.W. & R. A. Serway. **Physics for Scientists and Engineers**, vol.2. Ninth edition. Cengage Learning, 2010.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental Models in Cognitive Science. **Cognitive Science**, 4, 71-115, 1980.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental Models. 6th Edition. Printed in USA. **Cognitive Science Series**. 1995.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Modelos mentales en ciencia cognitiva**. NORMAN, D. A. **Perspectivas de la ciencia cognitiva**. Barcelona: Ediciones Paidós, p. 179 – 231, 1987.

KUHN, T. **The Structure of Scientific Revolution**. Chicago. The University of Chicago. (1970). **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Coleção Debates. Ed. Perspectiva, 1998.

LATOUR, B. (1999) **Pandora's hope: essays on the reality of science studies**. Harvard University Press, 1999.

LINDSAY, R.B. and Margenou, H. **Foundations of physics**. Dover Publications, 1957.

MASUDA, Yoneji. **The information society as post-industrial society**. World Future Society, 1980.

De MELLO, L. A. Concep Maps as useful tools for textbooks analyses. *Presented in: CCM 2014 – 6<sup>th</sup> International Conference on Concept Mapping*. Santos. Brazil. To be Published, 2014.

De MELLO, L.A.. Concept maps as a tool for evaluation of modern physics contents in textbooks. **Open Science Framework – preprint**. Jul. 2015a. Disponível em: <<https://osf.io/c376x>>, Acesso em: 15/03/2017

De MELLO, L.A. The use of Concepts Mapping in the Science Paradigm Transposition and the Cognitive Science Theory – The Case of Black Body Radiation. **Open Science Framework – preprint**. Nov. 2015b. Disponível em: <<https://osf.io/auety>>, Acesso em: 15/03/2017.

De MELLO, L.A. Concept Maps as a Tool for the Evaluation of didactic Transposition and of Scientific Transposition. The Case of Photoelectric Effect. **Open Science Framework – preprint**. Dec. 2015c. Disponível em: <<https://osf.io/e9jmr/>>, Acesso em: 15/03/2017.

De MELLO, L.A. A propose of Rules Defining as a Didactic Transposition Should Occur or be Achieved - The Generalized Didactic Transposition Theory. **Open Science Framework – preprint**. Fev. 2016a. Disponível em: <<https://osf.io/uzfhh>>, Acesso em: 15/03/2017.

De MELLO, L.A. Concept Maps as the Algorithmic Language to make the study of how the Scientific Theories are Built and Transcribed to Textbooks. **Open Science**



**Framework – preprint.** Mar. 2016b. Disponível em: <<https://osf.io/c376x>>, Acesso em: 15/03/2017.

De MELLO, L.A. Maps of Scientific Knowledge Structure and the Theory of Scientific Knowledge: The appearance of a new branch of Social Sciences. **Open Science**

**Framework – preprint.** Mar. 2016c. Disponível em: <[osf.io/c6np2](https://osf.io/c6np2)>, Acesso em: 15/03/2017.

Meltzer DE. The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. **American Journal of Physics.** Dec; 70(12): 1259-1268, 2002.

MERRIAM-WEBSTER **Online Dictionary.** Disponível em: <<http://www.merriam-webster.com/dictionary/science>>. Acesso em 10/09/2017

MOREIRA, M. A. Concept Maps as Tools for Teaching. **Journal of College Science Teaching**, v8 n5 p283-86, 1979.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. **Investigações em Ensino de Ciências – V1(3)**, pp.193-232, 1996.

MOREIRA, M. A. , I. M. Greca, and M<sup>a</sup> L. R. P. - "Modelos Mentales Y Modelos Conceptuales En La Enseñanza & Aprendizaje de Las Ciencias 13 (Mental models and conceptual models in the teaching & learning of science)." **Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências** 2.3: 84-96, 2002.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Revista Chilena de Educação Científica**, 4(2): 38-44, 2005. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 11/06/2017

MOREIRA, M.A. "**Mapas conceituais e diagramas V**". Porto Alegre: Ed. do Autor 2006.

NERSESSIAN, N.J. – How do Scientist Think? Capturing the dynamics of Conceptual Change in Science. **Cognitive models of science**, pg.3. 1992.

NORMAN, D.A. **Some observations on mental models.** In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. p. 6-14, 1983.

NOVAK, J. D. Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. **Instructional Science** 19:29-52, 1990.

NOVAK, J. D. & CAÑAS, A.J. **The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them.** Technical Report IHCM MECCpTools 2006-01. Disponível em: <[http://www.vcu.edu/cte/workshops/teaching\\_learning/2008\\_resources/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf](http://www.vcu.edu/cte/workshops/teaching_learning/2008_resources/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf)>. Acesso em: 15/03/2017

PLANCK, M. On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. **Annalen der Physik**, vol.4. p.553, 1901.

PSSC, **Física - Parte I, Parte II, Parte III, Parte IV**, Editora Universidade de Brasília, tradução autorizada com direitos reservados para o Brasil pelo IBEC-UNESCO. 1971.

PSSC. **Physical Science Study Committee**. Disponível em:

<<http://libraries.mit.edu/archives/exhibits/pssc/>>. Acesso em: 01/04/2017

Schnotz, W., and C. Kürschner. "External and internal representations in the acquisition and use of knowledge: visualization effects on mental model construction."

**Instructional Science** 36.3: 175-190, 2008.

R. A. SERWAY & J.W. JEWETT Jr. - **Princípios de Física; Vol. 4, 3ª Ed.**, Rio de Janeiro. Editora Cengage Learning, 2005.

SERWAY, R. A. & Jewett Jr., J.W. **Principles of Physics: a calculus-based text; Vol. 4, 4ª Ed.**, Belmont, U.S.A., Thomson Learning, 2006.

SMITH, A. **The Wealth of Nations** (Modern Library, New York, 1937), p. 423.

SUPPE, F. **The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism**, University of Illinois Press, Urbana, 1989.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & Cognição**, v. 12, p. 72-85, 2007.

TROCHIM W. AND LINTON, R. Conceptualization for planning and evaluation. **Evaluation and program planning**; 9(4): 289-308, 1986.

UCHÔA, E.; VIDAL, J.M. Antropologia médica: elementos conceituais e metodológicos para uma abordagem da saúde e da doença. **Cad Saúde Pública**, v. 10, n. 4, p. 497-504, 1994.

VIDEIRA, A. A. P. Boltzmann, Darwin e as leis do pensamento. **Revista Portuguesa de Filosofia**: 225-245, 2005.

VIDEIRA, A. A. P. "Boltzmann, theoretical physics and representation." **Revista Brasileira de Ensino de Física** 28.3,: 269-280, 2006.

H.D. YOUNG E R. A. FREEDMAN – **Física IV (Óptica, e Física Moderna); 12ª Ed.**, Editora Pearson. 2009.

YOUNG, H.D. & FREEDMAN, R. A. **University Physics with Modern Physics, Vol. 2. 12<sup>th</sup> Edition**, Sears and Zemansky's. San Francisco. Pearson Addison-Wesley, 2008.